www.sapientia.uji.es | 144

Proyectos II. Técnicas de conservación y mantenimiento

Juan Antonio García Esparza



Col·lecció «Sapientia», núm. 144

PROYECTOS II. TÉCNICAS DE CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO

Juan Antonio García Esparza

Departament d'Enginyeria Mecànica i Construcció

Codi d'assignatura: ED0946



Edita: Publicacions de la Universitat Jaume I. Servei de Comunicació i Publicacions
Campus del Riu Sec. Edifici Rectorat i Serveis Centrals. 12071 Castelló de la Plana
http://www.tenda.uji.es e-mail: publicacions@uji.es

Col·lecció Sapientia 144
www.sapientia.uji.es
Primera edició, 2018

ISBN: 978-84-17429-28-7
DOI:http://dx.doi.org/10.6035/Sapientia144



Publicacions de la Universitat Jaume I és una editorial membre de l'UNE, cosa que en garanteix la difusió de les obres en els àmbits nacional i internacional. www.une.es



Aquest llibre, de contingut científic, ha estat avaluat per persones expertes externes a la Universitat Jaume I, mitjançant el mètode denominat revisió per iguals, doble cec.

Índice

Índice

Patología, diagnosis e intervención en cimentaciones

Sintomatología, diagnosis e intervención en estructuras de carga

1. Posibles disfunciones estructurales. Sintomatología
    - 1.1. Definiciones previas
        - 1.1.1. Grados y matices en la intervención
        - 1.1.2. El muro
        - 1.1.3. Fallos técnicos en los muros
            - 1.1.3.1. Fallos de la posición espacial
            - 1.1.3.2. Fallos de la forma propia
            - 1.1.3.3. Fallos de la cohesión interna
    - 1.2. Lesiones deducibles a partir de la deformación transversal de la pared
        - 1.2.1. Modelos de deformación transversal
        - 1.2.2. Alabeo originado por las cargas verticales
        - 1.2.3. Inflexión progresiva de la pared
    - 1.3. Lesiones deducibles a partir de los efectos de los empujes
        - 1.3.1. Empujes no compensados de las bóvedas
        - 1.3.2. Otras acciones horizontales
    - 1.4. Lesiones debidas a la descompresión de la pared
        - 1.4.1. Asentamientos diferenciales
        - 1.4.2. Deslizamientos
    - 1.5. Efectos de la torsión
        - 1.5.1. La torsión como efecto adicional
    - 1.6. Cuadro general resumen de patologías de grietas y fisuras
2. Posibles disfunciones estructurales en estructuras abovedadas. Sintomatología
    - 2.1. Daños por tensiones mecánicas
    - 2.2. Fisuras, grietas y deformaciones
        - 2.2.1. Manifestación de fisuras grietas en estructuras abovedadas
        - 2.2.2. Análisis de las posibles causas
        - 2.2.3. Diagnóstico de los daños (ver temario cimentaciones)
    - 2.3. Seguimiento de daños y movimientos (ver apartado 3)
    - 2.4. Análisis estructural
    - 2.5. Intervenciones a realizar (ver tema de cimentaciones y apartado 5 del presente tema)
3. Metodología para el reconocimiento de la estructura de carga
    - 3.1. Introducción
    - 3.2. Prediagnosis
        - 3.2.1. Inspección de las paredes
    - 3.3. Estudios previos



Técnicas de conservación y mantenimiento de paramentos-superficies murarias y ornamentos

Sintomatología, diagnosis e intervención en estructuras de madera



9.3.4. Programa de carga
9.3.5. Instrumentación
9.4. Pruebas hasta solicitaciones superiores a las de servicio
9.5. Pruebas especiales para la evaluación de defectos
10. Bibliografía
11. Normativa
11.1. Código Técnico de la Edificación
11.2. Normas Tecnológicas
12. Software Técnico-Comercial
13. Congresos internacionales sobre la materia
14. Material docente complementario

Sintomatología, diagnosis e intervención en estructuras de hormigón y metálicas

I. Unidad didáctica 6A

0. Síntomas en estructuras de hormigón
   0.1. Daños por corrosión de armaduras
   0.2. Daños por ataque químico del hormigón
   0.3. Daños por otras causas
   0.4. Estudios pre-intervención del hormigón
1. Metodología de evaluación de patologías para la reparación de estructuras de hormigón armado
2. Fisuración del hormigón, diagnóstico y tratamiento
   2.1. Elección del procedimiento a emplear
      2.1.1. Cicatrización
      2.1.2. Ocratización
      2.1.3. Grapado
      2.1.4. Inyección de resinas epoxi
         2.1.4.1. Pasos a seguir en la inyección por presión de fisuras
         2.1.4.2. Puntos a tener en cuenta
         2.1.4.3. Inyección por vacío
         2.1.4.4. Eficacia de la reparación
      2.1.5. Inyección de pastas de cemento y micro-hormigones
      2.1.6. Morteros especiales de taponamiento
   2.2. Proyecto de reparación y pronóstico de la obra
3. Métodos de reparación del hormigón armado
   3.1. Sistema manual
   3.2. Sistema de morteros aditivados o sistema tradicional
   3.3. Sistema de morteros preparados monocomponentes
   3.4. Sistema de morteros preparados bicomponentes

Sintomatología, diagnosis y tratamiento de humedades

Introducción al estudio de la sismicidad en edificación

Listado de productos específicos

EL MOTIVO
DE LA ASIGNATURA

Proyectos II. Conservación y mantenimiento de edificios es una asignatura relevante para los estudiantes de Arquitectura Técnica e Ingeniería de Edificación desde el punto de vista de la resolución de problemas patológicos en el parque edificado.

El siglo XXI plantea retos para la revitalización del barrios y edificios degradados, muchos de ellos con alto valor patrimonial, tanto en ámbitos rurales como urbanos que pueden ser susceptibles de ser amenazados, bien por abandono, por la presión urbanística o por reformas que se realizan al amparo del desconocimiento de todos los factores que influyen en edificación.

Algunos autores establecen que un 60 % del parque edificado necesita de obras de mantenimiento, rehabilitación y/o restauración, pues numerosos edificios se encuentran con problemáticas comunes; abandono y desuso, envejecimiento y consecuentemente, mal estado e inadecuación. Existe falta de gestión y unas correctas intervenciones, tanto en edificios como en núcleos urbanos y enclaves rurales que necesitan de intervenciones de calidad para su reocupación y revitalización.

La asignatura se plantea desde un análisis íntegro de cómo resolver problemas devenidos de las problemáticas reseñadas anteriormente por medio de la exposición de ejemplos prácticos o casos de estudio que ejemplifican potenciales soluciones a desarrollar en situaciones complejas. Por ello, la presente publicación recoge un compendio de intervenciones de conservación, rehabilitación y restauración como parte de la propia experiencia adquirida por el autor y alguna otra información cedida por compañeros y amigos de profesión.

La publicación comienza con un tema introductorio sobre planes de mantenimiento en edificación. Los siguientes temas abordan el análisis del edificio desde las diferentes partes constitutivas; la cimentación, los muros de carga, la superficie de estos o sus paramentos, las estructuras y carpinterías de madera, las estructuras de hormigón armado y metálicas así como las carpinterías metálicas, los casos específicos de presencia de humedad en determinados ambientes y lugares del edificio, un breve tema introductorio a la sismicidad en edificación y por último, como tema de cierre, una pequeña reflexión sobre entornos patrimoniales.

La tipología de edificios que se analizan a lo largo de los casos de estudio que se exponen a continuación es, en la mayoría de los casos, la que corresponde a inmuebles patrimoniales y en un número menor a edificios que no ostentan esa distinción, es decir, edificaciones contemporáneas que responden a estructuras y envolventes actuales.

Así, el estudio de la patología y principalmente su reparación se realiza desde una perspectiva meramente técnica de reparación o restauración sin considerar las cuestiones relativas a mejoras térmicas y/o acústicas de las intervenciones. Por lo tanto, el acercamiento se plantea hacia una reparación material, el recobro de las propiedades originales que otorgan al edificio integridad, estabilidad y confortabilidad.

Por todo lo expuesto, las casi seiscientas diapositivas docentes que componen esta publicación concluyen con una aproximación a sensibilidad y cuidado con la que se deben analizar los enclaves patrimoniales con valores materiales significativos para la sociedad que los habita y así, tratar de transmitir y poner de relieve las cualidades y capacidades de llevar a término intervenciones de calidad con respeto a aquello existente, materiales, soluciones constructivas y entornos como resultado del respeto hacia la riqueza cultural del lugar donde el técnico que haya paso por esta asignatura atesore y refleje en aquellos lugares donde ejerza la profesión en un futuro.

Juan A. García Esparza

Objetivos

Conocimiento de los materiales y sistemas constructivos tradicionales o prefabricados empleados en la edificación, sus variedades y las características físicas y mecánicas que los definen.

Capacidad para dictaminar sobre las causas y manifestaciones de las lesiones en los edificios, proponer soluciones para evitar o subsanar las patologías, y analizar el ciclo de vida útil de los elementos y sistemas constructivos.

Aptitud para intervenir en la rehabilitación de edificios y en la restauración y conservación del patrimonio construido.

Capacidad para dictaminar sobre las causas y manifestaciones de las lesiones en los edificios, proponer soluciones para evitar o subsanar las patologías, y analizar el ciclo de vida útil de los elementos y de los sistemas constructivos.

Capacidad para analizar y realizar proyectos de evacuación de edificios.

Capacidad para elaborar manuales y planes de mantenimiento y gestionar su implantación para la conservación y mantenimiento del edificio.

Capacidad para aplicar la normativa técnica al proceso de conservación y mantenimiento de edificios, y generar documentos de especificación técnica de los procedimientos y métodos constructivos.

Capacidad para aplicar las herramientas avanzadas necesarias para la resolución de las partes que comporta la conservación y mantenimiento de edificios y su gestión.

Aptitud para redactar documentos que forman parte de proyectos de ejecución elaborados en forma multidisciplinaria.

Capacidad de análisis de los proyectos de ejecución y su traslación a las obras de conservación y mantenimiento de edificios.

CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EDIFICIOS

Unidad didáctica 1

Breve introducción a la Inspección Técnica de Edificios

ÍNDICE

Juan Antonio García Esparza
ISBN: 978-84-17429-28-7

DOI:http://dx.doi.org/10.6035/Sapientia144

9. Normativa

9.1. Código Técnico de la Edificación

9.2. Normas Tecnológicas

10. Software Técnico-Comercial

11. Material docente complementario

Esta unidad didáctica se complementa con material gráfico de varios Casos Particulares de Inspección.

Conservación (Restauración - Rehabilitación) y Mantenimiento

1. Definición de la intervención en el edificio

El tipo de intervención o actuación en un edificio, de una forma general, tiene en principio tres condicionantes básicos, como son el artístico, estético o mecánico, aunque en casi todos los casos se suman problemas de impermeabilidad y aislamiento.

Por estos motivos, es vital analizar y estudiar la Patología del edificio y las causas que la han originado, para poder realizar una intervención correcta y profesional.

Al no existir una Normativa específica que defina la intervención, la experiencia, ordenanzas y normas vigentes pueden dar definiciones muy aproximadas de los trabajos que se efectúan en el edificio.

Los trabajos de *Restauración*, tomando como base lo expuesto en el párrafo anterior, tienen como objeto la restitución de un edificio o parte del mismo a sus condiciones originales, con una intervención metodológica que la sitúe en su tiempo histórico y la aplicación de la tecnología existente, no deformando el testimonio Histórico-Artístico y posibilite su lectura a las futuras generaciones.

Los trabajos de *Rehabilitación*, tomando igualmente como base lo expuesto en el párrafo anterior, en su sentido más amplio se consideran como las obras encaminadas a restituir, recuperar o mejorar la calidad del edificio, en el sentido de mayor confort para sus ocupantes.

En muchos casos, estos dos conceptos vienen aparejados, como consecuencia del estado global del propio edificio, con obras de consolidación, reestructuración, acondicionamiento y restauración, pudiéndose considerarlas como obras de conservación extraordinarias.

2. Diagnosis de daños y causas

El deterioro que se observe en los materiales que conforman el edificio o monumento, puede ser causado por una o varias causas independientes, relacionadas entre sí en algunos casos, pero siempre investigando las consecuencias poste-

riores de la causa principal y de esta forma determinar una diagnosis correcta y completa.

Se iniciará el trabajo levantando un plano de la situación actual, a poder ser sobre planos originales, mediante un sistema de fotogrametría, para ubicar en él en todo momento las anomalías que se detecten.

Por otra parte la observación visual *in-situ* es un trabajo básico para confeccionar lo que se denomina «fichas de obra», donde se anotarán las distintas anomalías, situación y deterioro, teniendo en cuenta los siguientes puntos de estudio:

- Comparar con los materiales primitivos, las propiedades físico-químicas de las zonas dañadas.
- Realizar un estudio de la evolución de los materiales.
- Analizar la influencia de las condiciones climáticas de la zona donde se ubica el edificio o monumento, mediante estación meteorológica.

Las causas, como ya se ha comentado, pueden ser varias y se podría decir que ilimitadas al existir una infinidad de agentes y factores que las provocan, pero atendiendo a la experiencia de trabajos efectuados en distintos edificios o monumentos las más cotidianas serian las que se relacionan y comentan a continuación:

- Mala calidad de materiales y acciones exteriores.
- Agresión del agua de lluvia y humedad ambiente.
- Agresión de agentes biológicos.
- Agresión de la contaminación atmosférica.
- Deterioro por la acción humana.
- Acumulación de tensiones de elementos estructurales.
- Acumulación de sustancias superficiales.

3. Proyecto de intervención general

La actuación en el edificio o monumento histórico debe ser profundamente estudiada y meditada, para no incurrir en el error de hacer desaparecer total o parcialmente el legado histórico transmitido durante siglos.

El Proyecto de intervención debe de ser minucioso y responsable, hasta el último detalle por muy poco importante que parezca, conteniendo capítulos básicos como son los que se detallan a continuación y que luego desarrollamos.

- Historial del edificio o monumento histórico.
- Patología vista y oculta, con la diagnosis y causas.
- Actuación y tratamientos a emplear.

3.1. *Historial del edificio o monumento*

El conocimiento profundo del edificio o monumento, en sus vertientes artística y arquitectónica, nos proporcionará unas posibilidades metodológicas en la puesta al día de la construcción, así como la traducción del lenguaje de la época a la arquitectura actua1.

La investigación indagará la importancia de las situaciones y problemas que se han producido durante el transcurso de los años, así como las soluciones que se adoptaron y los materiales empleados en cada caso.

Desde el punto de vista constructivo y estructural, se tienen que conocer las distintas fases de obras e intervenciones posteriores, así como materiales, sistema de construcción, cubiertas, revocos, etc. y finalmente el entamo medioambiental.

La Inspección visual del edificio o monumento, como ya se ha expuesto, nos proporcionará información que en muchos casos ha sido imposible obtener por los canales tradicionales. Como pueden ser firmas, fechas, símbolos, tallistas, revocos, etc.

En términos generales, la obtención de la mayor documentación posible del edificio o monumento, nos marcará las bases y pautas para realizar una intervención correcta y profesional y lo más importante sin alterar el legado histórico.

3.2. *Patologías, causas y efectos*

Para determinar, con la mayor exactitud posible, la patología del edificio o monumento es importante una inspección visual lo más estricta y exigente, con el mayor número de fotografías tomadas desde distintos ángulos y distancias, con detalle de los deterioros observados, pero lo imprescindible es una fotografía con cámara fotogramétrica tridimensional que nos corroborará los daños y deterioros actuales, aparte de situarlos dentro del edificio histórico o monumento.

Como complemento al trabajo anterior, es de una utilidad enorme la confección y creación de las «fichas de obra», donde quedará reflejada la foto de la agresión situación, definición del deterioro, causas y extensión de la misma, para de esta forma poseer en todo momento el conocimiento exacto de la patología en ese punte del edificio o monumento.

La diagnosis de las distintas agresiones se detallará con todo rigor siguiendo en todo lo posible confeccionando una Memoria descriptiva donde se refleje toda o todas las «enfermedades» del edificio o monumento.

Para analizar, cualitativa y cuantitativamente, la degradación y deterioro de los componentes del elemento constructivo del edificio o monumento y determinar sus causas, se programará un Estudio Metódico completo, con probetas de origen y actuales con los siguientes objetivos.

- Mejorar la resistencia a compresión —dureza— del material actual.
- Conseguir la total o parcial disorción del agua de lluvia.
- Mantener la permeabilidad al vapor de agua.
- Detener el proceso de deterioro actual.
- No alterar el aspecto físico/artístico del edificio o monumento.

Como ya se ha expuesto, los materiales que componen los elementos constructivos de este tipo de construcciones, son sillares de piedra y fábricas de ladrillo cerámico macizo, por lo tanto el referido Estudio tendrá ciertas variantes debido a la composición de cada uno de ellos y por esta razón los analizaremos con detalle y por separado.

3.3. *Actuación y tratamiento*

Las actuaciones actuales en la conservación y restauración de edificios o monumentos históricos, pretenden dos objetivos fundamentales:

- Conservar y fomentar los trabajos artesanales que de siempre se han venido utilizando y que en la mayoría de los casos proporcionan mejores soluciones constructivas, actualizados con la tecnología existente.
- Apoyar los programas de investigación y desarrollo (I+D), de técnicas más sofisticadas, para solucionar problemas que hasta nuestros días no la tenían.

Esta pequeña reflexión nos daría pie a definir la mecánica de una restauración, de una forma genérica, como:

«Los trabajos necesarios, una vez conocidas con profundidad las causas de deterioro observado, aplicando la investigación tecnológica existente en el momento, con una intervención mínima pero necesaria, con el fin de no deformar el testimonio histórico/artístico y de esta forma transmitir a las futuras generaciones el legado cultural del monumento.»

4. Conceptos de Conservar y Mantener

Conservar y mantener un edificio es una responsabilidad inherente a la vida del mismo y una obligación de la Propiedad o de los Organismos Oficiales encargados de esta misión.

En un concepto general, mantener es conservar un bien de cualquier naturaleza en el tiempo, dándole vigor y permanencia y esto es muy diferente a las definiciones de Restaurar o Rehabilitar, que ya se han expuesto antes y que desarrollamos más adelante.

Los Organismos Oficiales y Ayuntamientos han impulsado y dictado normas de conservación, ya que el propietario se responsabiliza directamente de dicha misión para impedir o evitar que cause perjuicios a vidas humanas y edificios, realizando las obras pertinentes de acuerdo con el deber que le impone la Ley, ya bien sea Local o Estatal.

4.1. *Ámbito legal*

Nivel Estatal

La Ley del Suelo (6/98), en su artículo 19, define las condiciones de Seguridad, Salubridad y Ornato público, que deben conocer y cumplir los propietarios o responsables de un edificio y las cuales se exponen a continuación.

— *Condiciones de Seguridad*: las edificaciones deberán mantenerse en sus cerramientos y cubiertas, estancas al paso del agua de lluvia, contar con la protección contra la acción del fuego y poseer el aislamiento térmico correcto, así como los elementos de protección contra caídas en buen estado.

Las estructuras se conservarán garantizando su misión resistente defendidas de los efectos de «corrosión» y agentes agresores, así como de las filtraciones que puedan lesionar las cimentaciones.

Los revestimientos de fachada, cubriciones de cubierta y cerramientos conservados de forma que no ofrezcan riesgo para las personas ni bienes personales o públicos.

— *Condiciones de Salubridad*: deberán mantenerse en buen estado las redes de servicio, instalaciones sanitarias, ventilación e iluminación, de forma que se garantice el uso para el que han sido destinadas.

— *Condiciones de Ornato público*: las fachadas de los edificios se deben de mano tener en un estado estético decente, mediante limpieza, pintura, reparación o reposición de los materiales de revestimientos.

En cuanto al tipo de obras a realizar, para cumplir con lo expuesto anteriormente, hay que definir las denominadas «obras de conservación/mantenimiento» de la siguiente manera.

Las obras de conservación/mantenimiento tienen por finalidad mantener el edificio en condiciones de salubridad y ornato, sin alterar el aspecto estético del edificio.

En éstas se consideran también los anclajes de cornisas y volados, limpieza o reposición de canalones de desagüe y bajantes, revocos de fachada, pintura de paramentos, reparación de cubiertas —planas o inclinadas— así como las conducciones del saneamiento del edificio.

Integradas en este concepto general, hay que definir dos actuaciones más específicas, como son las propias obras de Restauración o Rehabilitación.

— *Las obras de Restauración*: su finalidad es restituir a un edificio parte o la totalidad del mismo a su estado original, aunque en muchos casos y sobremanera en las actuaciones de los edificios históricos, se tienen que efectuar obras de consolidación, demolición y acondicionamiento de elementos constructivos vitales para la estabilidad de la edificación.

— *Las obras de Rehabilitación*: en su sentido más amplio, se consideran como las que tienen por objetivo recuperar y mejorar la calidad de un edificio, entendiendo que se pueden considerar obras de restauración, consolidación, reestructuración, etc., con la finalidad de recuperar y mejorar la calidad de vida del edificio intervenido.

* *La legislación vigente:* El Real Decreto-ley 8/2011 establece lo siguiente en relación con las ITE:

«Artículo 21. Obligatoriedad de la inspección técnica de edificios.

1. *Los edificios con una antigüedad superior a 50 años, salvo que las Comunidades Autónomas fijen distinta antigüedad en su normativa, destinados preferentemente a uso residencial situados en los municipios señalados en la disposición adicional tercera, deberán ser objeto, en función de su antigüedad, de una inspección técnica periódica que asegure su buen estado y debida conservación, y que cumpla, como mínimo, los siguientes requisitos:*

a) *Evaluar la adecuación de estos inmuebles a las condiciones legalmente exigibles de seguridad, salubridad, accesibilidad y ornato.*
b) *Determinar las obras y trabajos de conservación que se requieran para mantener los inmuebles en el estado legalmente exigible, y el tiempo señalado al efecto.*

2. *Las actuaciones contenidas en este artículo se aplicarán en la forma, plazos y condiciones que regulen las Comunidades Autónomas. Los Municipios podrán establecer sus propias actuaciones en el marco de los mínimos estatales y autonómicos.*

3. *Las inspecciones realizadas por encargo de la comunidad o agrupación de comunidades de propietarios que se refieran a la totalidad de un edificio o complejo inmobiliario extenderán su eficacia a todos y cada uno de los locales y viviendas existentes.*

Artículo 22. Efectos de la inspección.

Cuando de la inspección realizada resulten deficiencias, la eficacia del documento acreditativo de la misma, a los efectos de justificar el cumplimiento del deber legal

de conservación a que se refiere el artículo 9 de la Ley de Suelo, quedará condicionada a la certificación de la realización efectiva de las obras y los trabajos de conservación requeridos para mantener el inmueble en el estado legalmente exigible, y en el tiempo señalado al efecto.

Disposición adicional tercera. Aplicación de la inspección técnica de edificios obligatoria.

Las determinaciones contenidas en este Real Decreto-ley relativas a la inspección técnica de edificios sólo serán aplicables en los municipios con población superior a veinticinco mil habitantes salvo que las Comunidades Autónomas fijen otros estándares poblacionales y en aquéllos que las Administraciones incluyan en las áreas o los entornos metropolitanos que delimiten. Las Comunidades Autónomas, cuando las circunstancias lo aconsejen, podrán disponer la aplicación de las determinaciones relativas a la inspección técnica de edificios a municipios no comprendidos en el apartado anterior, y en dicho caso, establecer excepciones del cumplimiento de la misma a determinados edificios según su tipología o su uso predominante.

Disposición final tercera. Entrada en vigor.

Este Real Decreto-ley entrará en vigor el día de su publicación en el «Boletín Oficial del Estado», a excepción de lo dispuesto en el artículo 21, en relación con la inspección técnica de edificios, que entrará en vigor al año de su publicación.»

Al margen de lo establecido por el Decreto-ley expuesto, las distintas ordenanzas establecen la periodicidad mínima con la que los edificios deben pasar la ITE, que pueden variar según la ciudad y la antigüedad del inmueble.

Asimismo, establecen que la obligación de realizar la ITE corresponde a los propietarios del edificio, quienes deberán contratar a un técnico independiente o entidad de inspección técnica homologada, para que emita un informe, en el que establezca el estado de conservación del mismo, y si es preciso, o no, realizar obras de conservación, restauración o rehabilitación.

Nivel Autonómico

El Anteproyecto de Decreto del Consell de la Comunitat Valenciana, por el que se regula la realización del Informe de Evaluación del Edificio de uso residencial vivienda y su Registro autonómico, en el ámbito de la Comunitat Valenciana, se establece a partir del Real Decreto 233/2013, de 5 de abril, por el que se regula el Plan Estatal de fomento del alquiler de viviendas, la rehabilitación edificatoria y la regeneración y renovación urbanas, y la subsiguiente Ley 8/2013, de 26 de junio, de Rehabilitación, Regeneración y Renovación urbanas (actualmente integrada en forma de texto refundido de la Ley del Suelo y Rehabilitación Urbana aprobado por Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30 de octubre), establece como figura de-

finitiva y como obligación de la propiedad de edificios de viviendas plurifamiliares, cuando concurran las diversas circunstancias que en esta última se enuncian.

Esta figura se centra en disponer de la información precisa en materia de conservación, accesibilidad y eficiencia energética de determinados inmuebles, particularmente los edificios de tipología residencial de vivienda colectiva con antigüedad superior a cincuenta años. Asimismo, esta Ley obliga a crear un Registro integrado único de ámbito autonómico, donde los propietarios los inmuebles deberán remitir una copia del citado IEE.

La armonización básica entre la legislación estatal y valenciana, vendrá de la mano de la legislación urbanística, concretamente en la Ley 5/2014, de 25 de julio, de la Generalitat, de Ordenación del Territorio, Urbanismo y Paisaje, de la Comunidad Valenciana, LOTUP, el artículo 180 de la cual, que trata sobre el deber de conservación, rehabilitación e inspección periódica de edificaciones, impone también la obligación de promover un Informe de Evaluación sobre su estado.

El contenido del IEE.CV aquí regulado, sigue las directrices de la LOTUP respecto, recoge la información conforme el mencionado Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30 de octubre, sobre el estado de conservación, las condiciones de accesibilidad y la evaluación energética del edificio cumpliendo las exigencias de dicha Ley, así como lo determinado en el Real Decreto 233/2013, de 5 de abril, por el que se regula el Plan Estatal de fomento del alquiler de viviendas, la rehabilitación edificatoria, y la regeneración y renovación urbanas 2013-2016, en relación con el Informe de Evaluación del Edificio.

5. Programas de mantenimiento

Un edificio bien conservado proporciona seguridad a los habitantes del mismo y a los peatones que circulan junto a él, evitando accidentes imprevistos corno explosiones de gas, desprendimientos de cornisas, revocos, elementos ornamentales, etc., y en algunos casos derrumbe de la edificación, como se está produciendo, por desgracia, con cierta frecuencia y sobremanera en los cascos antiguos de las ciudades.

Por otra parte, un edificio con mantenimiento programado, es rentable a nivel de habitabilidad y economía, pues se evitan los fuertes gastos ocasionados por reparaciones o anomalías no deseadas.

Los edificios, tanto en su conjunto como para cada uno de sus componentes, deben de tener un uso y mantenimiento correctos, por tanto su propietario o propietarios deberán conocer las características generales del edificio y sus diferentes partes e instalaciones.

Un edificio bien conservado envejece más dignamente y permite disfrutarlo durante más años —evitando fuertes gastos, como ya se ha expuesto— siendo al final rentable y con el confort interior deseado.

En relación con la conservación de instalaciones como calefacción y aire acondicionado en particular, si el edificio está bien aislado del frío o calor y no existen fugas, puentes térmicos, etc., se consume menos energía y con ello se colabora a la conservación del medio ambiente y a un confort personal.

Ya se sabe que un edificio es muy complejo y en consecuencia su mantenimiento, pero existen elementos constructivos que tienen una misión específica y se podría decir vital que exigen una mayor atención durante la vida de la edificación.

La estructura tiene como misión soportar el peso del edificio, compuesta básicamente por forjados, pilares, vigas, cimentación, etc.

La correspondencia de estos elementos es intima, ya que los forjados soportan el propio peso de tabiques, pavimentos, muebles, personas, etc., el cual es transmitido a los pilares y éstos a los cimientos, lo cual explica la importancia de que el «esqueleto» del edificio disfrute de buena salud.

La fachada configura el edificio y lo protege de los agentes climatológicos y del ruido exterior, permitiendo la relación con el exterior a través de huecos como ventanas, puertas y balconeras.

La cubierta, al igual que la fachada, protege de los agentes meteorológicos y aísla de las temperaturas extremas, existiendo dos tipos de ellas, las denominadas «azoteas» o cubierta plana y «tejados» o cubierta inclinada.

Los paramentos interiores conforman el edificio en diferentes espacios o habitaciones, para la realización de diferentes actividades.

Las instalaciones en general son unos servicios a disposición de los usuarios del edificio y que mediante ellas se obtiene el nivel de confort deseado en el interior del inmueble.

A continuación estudiaremos en profundidad el uso, lesiones y mantenimiento de los distintos elementos arquitectónicos e instalaciones que integran el volumen de la edificación.

Normativa relacionada:
Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana
Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30 de octubre, del Ministerio de Fomento.
B.O.E.: 31 de octubre de 2015

5.1. *Cimentación*

Se deben evitar cargas no contempladas en el Proyecto de edificación y en caso de ser necesario se debe acudir a un Arquitecto para que elabore el correspondiente

estudio técnico de modificación o refuerzo y el correspondiente proyecto de intervención.

Las patologías que pueden concurrir en una cimentación agredida o con falta de resistencia mecánica, las más comunes, son las que se detallan a continuación:

— Las grietas y desplomes en las cimentaciones no son apreciables a simple vista, siendo detectadas por las que aparecen en otros elementos constructivos como paredes, techos, etc.
— Pueden aparecer daños en la cimentación a consecuencia de las alteraciones producidas en el terreno por nuevas construcciones como pueden ser pozos de cimentación, túneles, pozos de saneamiento, carreteras, rellenos de tierras, etc., las cuales pueden exigir por vía legal la reparación en toda su amplitud técnica como económica.
— Las corrientes subterráneas espontáneas, fugas de las conducciones de agua y saneamiento, alteran el terreno y descalzan la cimentación del edificio produciendo un asentamiento en la zona afectada y deterioros importantes en el resto de la estructura. Por este motivo es vital eliminar rápidamente cualquier humedad procedente del subsuelo.

El agua de lluvia, granizo y nieve, aportan al subsuelo una humedad considerable, que puede producir y produce escorrentías no calculadas que alteran el calzado de la cimentación, por esta presunta agresión es necesario tener muy en cuenta los drenajes y desagües perimetrales.

En la adjunta Tabla 1, se expresan las inspecciones a realizar para conservar la cimentación en perfecto estado.

Tabla 1. *Mantenimiento*

OPERACIÓN	CADENCIA	INSPECCIÓN
Observación visual	Cada 2 años	Estado general y conductos de Drenaje y Desagües
Observación visual	Cada 10 años	Muros de contención y Elementos que conforman los cimientos

Tabla: adaptada por el autor

Normativa relacionada*:
DB-SE-C Seguridad estructural: Cimientos
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SE-C.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 28 de marzo de 2006

Modificado por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007

** A las Cimentaciones también les es de aplicación la normativa: DB-HS Salubridad, y DB-HE Ahorro de energía.*

5.2. *Estructura*

Este conjunto de elementos constructivos, resistentes a las cargas del edificio, debe evitar las humedades persistentes en los mismos, como pueden ser las vigas, pilares o forjados, por su agresión lenta y callada que conlleva a una destrucción posterior del elemento o parte de él, lo que exigirá una demolición o refuerzo del propio elemento constructivo.

Si es necesario colgar objetos en los elementos estructurales, se utilizarán tacos y tomillos apropiados al hormigón armado, sin deteriorar la cohesión interior del elemento arquitectónico.

Durante la vida del edificio pueden aparecer patologías en vigas y pilares que en general tienen carácter grave, lo cual exige la actuación de un arquitecto para que las analice y determine su importancia, redactando en su caso el proyecto de intervención.

En la Tabla 2, se expresan las patologías más comunes que se pueden presentar o detectar en una estructura, durante su vida útil.

Tabla 2. *Patologías*

PATOLOGÍA	ELEMENTO	DIAGNOSIS
Deformaciones	Paredes, Fachadas y Pilares	Desplomes
Fisuras y Grietas	Paredes, Fachadas y Pilares	Falta de asiento
Desconchados	Esquinas ladrillo cerámico	Falta de asiento
Desconchados	Revestimiento Hormigón	Explosiones interiores
Manchas de óxido	Hormigón armado	Oxidación armadura
Fractura de chapados	Fachadas, Tabiquería	Asentamiento del soporte

Tabla: adaptada por el autor

En las Tabla 3, se expresan las inspecciones a realizar para conservar la estructura en condiciones de resistencia mecánica idónea.

Tabla 3. *Mantenimiento*

OPERACIÓN	CADENCIA	INSPECCIÓN
Observación visual	2 años	De los puntos de la estructura vertical con riesgo de humedad
Observación visual	10 años	De todos los elementos estructurales
Observación visual	10 años	Control de la aparición de fisuras, grietas y alteraciones por agentes agresivos
Observación visual	10 años	Recubrimiento del hormigón en la armadura de hierro
Observación visual	10 años	Estado de las juntas de dilatación en general

Tabla: adaptada por el autor

LESIONES	SÍNTOMAS	INSPECCIÓN	ACTUACIÓN
Deformaciones	Desplomes de muros, paredes y pilares	—	D.F.
Fisuras y Grietas	Rotura de materiales en muros, paredes y pilares	10 años	D.F.
Desconchados	Desprendimiento de ladrillos y revestimientos	10 años	D.F.
Reventamiento en Hormigón armado	Manchas de óxido, aparición de armaduras	10 años	D.F.
Juntas de dilatación de sellado	Destrucción del material	5 años	Obra

Tabla: adaptada por el autor

La sintomatología de los daños o lesiones anteriores aparecen en los primeros años de vida del edificio, en el caso de fisuraciones, al cabo de los 10 años la corrosión de las armaduras y ataque al hormigón y las deformaciones al cabo de los 5 años.

La patología de causa/efecto puede ser provocada en muchos casos como consecuencia del empleo a la hora de la ejecución de materiales de muy baja calidad.

Normativa relacionada*:
DB-SE-AE Seguridad estructural: Acciones en la edificación
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SE-AE.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 28 de marzo de 2006
Modificado por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.

B.O.E.: 23 de octubre de 2007
Corrección de errores.
B.O.E.: 25 de enero de 2008

DB-SE-A Seguridad estructural: Acero
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SE-A.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 28 de marzo de 2006
Modificado por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007
Corrección de errores.
B.O.E.: 25 de enero de 2008

Instrucción de Acero Estructural (EAE)
Real Decreto 751/2011, de 27 de mayo, del Ministerio de la Presidencia.
B.O.E.: 23 de junio de 2011
** A las Estructuras de acero también les es de aplicación la normativa: DB-HR Protección frente al ruido, y DB-SI Seguridad en caso de incendio.*

DB-SE-M Seguridad estructural: Madera
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SE-M.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 28 de marzo de 2006
Corrección de errores.
B.O.E.: 25 de enero de 2008
** A las Estructuras de madera también les es de aplicación la normativa: DB-HR Protección frente al ruido, DB-SI Seguridad en caso de incendio, y DB-HE Ahorro de energía.*

Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08)
Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, del Ministerio de la Presidencia.
B.O.E.: 22 de agosto de 2008
** A las Estructuras de hormigón también les es de aplicación la normativa: DB-HR Protección frente al ruido, DB-SI Seguridad en caso de incendio, DB-HE Ahorro de energía y DB-SUA Seguridad de utilización y accesibilidad.*

5.3. *Forjados*

Es un elemento estructural con una resistencia limitada, dimensionado para soportar su propio peso, cargas añadidas como es mobiliario y personas. En el caso de que el edificio se destine a otros usos como pueden ser almacenes, industria pe-

queña, etc., las características específicas del mismo deben de pasar por un estudio técnico que determine sus dimensiones y composición.

En general los muebles de gran peso o librerías se deben de ubicar cerca de pilares o paredes de carga, para evitar el pandeo del forjado en el valor mínimo.

Tabla 4. *Mantenimiento*

LESIONES	SÍNTOMAS	INSPECCIÓN	ACTUACIÓN
Deformaciones	Abombamientos Baldosas desencajadas Carpinterías desencajadas	10 años	D.F.
Fisuras y Grietas	Rotura de Revestimientos en techos, suelos, dinteles, etc.	10 años	D.F.

Tabla: adaptada por el autor

5.4. *Fachadas*

Es el elemento constructivo vertical, que aísla del exterior al edificio y por tanto debe de poseer ciertas características de aislamiento, a los agentes meteorológicos.

La estanquidad es necesaria para evitar humedades interiores y en consecuencia la degradación de los materiales del muro de fachada, así como el mantenimiento del aislamiento térmico.

De todas formas, antes de iniciar los trabajos es imprescindible efectuar un estudio higrotérmico del elemento de fachada con el producto aislante correcto y conocer el espesor que cumple con la normativa vigente.

Básicamente, las características de un correcto aislamiento deben de ser las siguientes:

- No contener materiales contaminantes ni CFC's.
- Ser resistente al fuego con clasificación Ml.
- Conductividad térmica (λ) a 10 ºC y 90 días, cumpliendo UNE 92202, lo más baja posible.
- Resistencia a compresión mínima, cumpliendo UNE 92234.
- Densidad máxima, cumpliendo UNE 92235.
- Absorción de agua menor del 0,2 % en volumen (UNE 92236).
- Resistencia a la difusión del vapor (μ) máxima.
- Estabilidad dimensional al cabo de los 10 días.

En la Tabla 5, se exponen las lesiones más frecuentes en las fachadas de los edificios.

Tabla 5. *Lesiones*

LESIONES	SÍNTOMAS	INSPECCIÓN	ACTUACIÓN
Desprendimientos	Humedades interiores	2 años	Urgente
Fisuras y Grietas	Rotura revestimiento, Fca. De ladrillo aplacados, enfoscados, pintura, etc.	10 años	D.F.
Desconchados	Caída enfoscados y revestimientos	10 años	D.F.

Tabla: adaptada por el autor

Como consecuencia de la diversidad de productos existentes para el revestimiento de las fachadas, la Tabla 6 se exponen una serie de los más comunes, con su cadencia de inspección y actuación.

Tabla 6. *Productos fachadas e inspección*

MATERIAL	INSPECCIÓN	LIMPIEZA	ACTUACIÓN
Aplacados de fachada	2 años	10 años	—
Anclajes aplacados	5 años	—	—
Acabados de fachada	10 años	—	—
Mortero monocapa	10 años	10 años	—
Obra vista	5 años	10 años	—
Pintura a la Cal	1 año	—	1 año
Pintura plástica	1 año	—	3 años
Pintura al silicato	1 año	—	5 años
Enfoscados pintados	5 años	—	20 años

Tabla: adaptada por el autor

Las Medianerías se pueden considerar fachadas, en el caso de que no tengan edificio colindante y por regla general son paramentos ciegos exteriores revestidos. En la Tabla 7, se expresa el mantenimiento de las fachadas medianeras para una correcta conservación.

Tabla 7. *Mantenimiento fachadas*

OPERACIÓN	CADENCIA	INSPECCIÓN	ACTUACIÓN
Observación visual	5 años	Inspección general	10 años
Renovación	1 año	—	Pintura a la cal
—	3 años	—	Repintado pintura plástica
—	5 años	—	Repintado pintura al silicato
—	10 años	Revocos	20 años

Tabla: adaptada por el autor

Lo importante en este caso es que las carpinterías exteriores posean un contacto íntimo con el paramento de fachada, para lo cual desde su instalación en el edificio se las ha dotado de un sellado con un cordón de silicona, la cual tiene una vida limitada y por este motivo cada 5 años se debe de comprobar su estado y cada 10 años se sustituirá por otro nuevo, a poder ser con una masilla de poliuretano por su mayor duración en el tiempo.

Normativa relacionada*:
DB-SE-AE Seguridad estructural: Acciones en la edificación
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SE-AE.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 28 de marzo de 2006
Modificado por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007
Corrección de errores.
B.O.E.: 25 de enero de 2008

DB-SE-F Seguridad estructural: Fábrica
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SE-F.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 28 de marzo de 2006
Modificado por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007
Corrección de errores.
B.O.E.: 25 de enero de 2008

** A los Muros de carga también les es de aplicación la normativa: DB-HR Protección frente al ruido y DB-HS Salubridad.*

Procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios
Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, del Ministerio de la Presidencia.
B.O.E.: 13 de abril de 2013

DB-HE Ahorro de energía
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HE.
Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, del Ministerio de Fomento.
B.O.E.: 12 de septiembre de 2013
Corrección de errores.
B.O.E.: 8 de noviembre de 2013

Norma de Construcción Sismorresistente: parte general y edificación (NCSE-02)
Real Decreto 997/2002, de 27 de septiembre, del Ministerio de Fomento.
B.O.E.: 11 de octubre de 2002

** A las Carpinterías también les es de aplicación la normativa: DB-HR Protección frente al ruido, DB-HS Salubridad y DB-SUA Seguridad de utilización y accesibilidad.*

5.5. *Cubiertas y tejados*

De la misma forma que la fachada protege al interior del edificio de las inclemencias atmosféricas y ruidos exteriores, la cubierta cumple con las mismas misiones y por este motivo la conservación y mantenimiento es importante para la vida del edificio y en par1icular para los habitantes de la última planta.

En el concepto de «cubierta», existen dos subconceptos, como son los de cubierta inclinada —con pendientes superiores al 5 %— y cubierta plana o azotea —con pendiente inferior al 5 %— donde los acabados de las mismas son muy distintos y en consecuencia la conservación y mantenimiento.

Una medida de carácter general, en ambos tipos de cubierta, es la prohibición total del acceso a la misma de personas ajenas al mantenimiento de la cubierta, pero en el caso de que el edificio posea tendederos en cubierta, la comunidad o propiedad deberán asumir cualquier trabajo imprevisto, por un mal uso, que no estaría comprendido en el programa de mantenimiento.

En las Tablas 8, se expresan las inspecciones necesarias para conservar este elemento constructivo en perfecto estado.

Tabla 8.1. *Mantenimiento Cubierta inclinada*

ELEMENTOS	INSPECCIÓN	LIMPIEZA	ACTUACIÓN
Eliminación de plantas	1 año	1 año	—
Canalones / Limahoyas	1 año	1 año	5 años
Limatesas / Perimetros	1 año	1 año	5 años
Estado general	2 años	2 años	10 años

Tabla: adaptada por el autor

Tabla 8.2. *Mantenimiento Cubierta plana*

ELEMENTO	INSPECCIÓN	LIMPIEZA	ACTUACIÓN
Eliminación de plantas	1 año	1 año	—
Estanquidad de juntas	1 año	—	—
Planeidad solado	2 años	—	—
Protección aislamiento	2 años	—	Posible
Acabados de cubierta	3 años	—	—
Anclajes y Fijaciones	5 años	—	—
Limpieza general	—	10 años	—
Junta dilatación	—	3 años	3 años
Lámina impermeabiliz.	3 años	—	10 años
Solado cubierta	3 años	1 año	20 años

Tabla: adaptada por el autor

Normativa relacionada*:
DB-SE-AE Seguridad estructural: Acciones en la edificación
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SE-AE.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 28 de marzo de 2006
Modificado por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007
Corrección de errores.
B.O.E.: 25 de enero de 2008

DB-HE Ahorro de energía
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HE.
Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, del Ministerio de Fomento.
B.O.E.: 12 de septiembre de 2013

Corrección de errores.
B.O.E.: 8 de noviembre de 2013

Norma de Construcción Sismorresistente: parte general y edificación (NCSE-02)
Real Decreto 997/2002, de 27 de septiembre, del Ministerio de Fomento.
B.O.E.: 11 de octubre de 2002

** A las Cubiertas también les es de aplicación la normativa: DB-HR Protección frente al ruido, DB-SI Seguridad en caso de incendio y DB-HS Salubridad.*

5.6. *Tabiques de distribución y pavimentos*

Este elemento existente en el interior del edificio, con la misión de dividir el espacio total en otros espacios menores para realizar diversas actividades, no suelen demandar un mantenimiento concreto, aunque es aconsejable examinarlos con detenimiento como mínimo cada 5-10años.

Las fisuras, grietas y deformaciones, desplomes o abombamientos, son patologías que denuncian defectos estructurales, que demandan en el plazo más breve posible la visita de una Técnico superior, para emitir el informe pertinente y si es necesario el correspondiente proyecto de intervención.

Los pavimentos, como todo material de construcción, tienen una duración limitada en el tiempo y precisan de un mantenimiento mínimo por cuenta del usuario del piso, no siendo impositivo el mismo, pero sí se aconseja lo expresado en la Tabla 9, aunque un uso razonable sería la mejor conservación.

Tabla 9. *Mantenimiento Pavimentos*

OPERACIÓN	CADENCIA	ACTUACIÓN
Inspección	2 años	Pavimentos goma, parqué, moqueta, etc.
Inspección	5 años	Pavimentos hormigón, terrazo, cerámica, gres, piedra
Limpiar	6 meses	Moqueta, encerado y abrillantado de cerámica, etc.
Renovar	5 años	Tratamiento revestimientos interiores madera con fungicidas; Repintado de paredes y barnizado de parqué
Renovar	10 años	Pulido y barnizado de parqué

Tabla: adaptada por el autor

Normativa relacionada:
DB-SUA Seguridad de utilización y accesibilidad
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SUA.

Real Decreto 173/2010, de 19 de febrero, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 11 de marzo de 2010

Guía de aplicación del DB HR Protección frente al ruido
Ministerio de Vivienda y Ministerio de Ciencia e Innovación.
1 de agosto de 2009

DB-SI Seguridad en caso de incendio
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SI.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 28 de marzo de 2006
Modificado por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007
Corrección de errores.
B.O.E.: 25 de enero de 2008

Clasificación de los productos de construcción y de los elementos constructivos en función de sus propiedades de reacción y de resistencia frente al fuego
Real Decreto 842/2013, de 31 de octubre, del Ministerio de la Presidencia.
B.O.E.: 23 de noviembre de 2013

5.7. *Instalaciones y equipamientos*

Estos capítulos, comunes en toda la edificación, son de importancia vital para la estabilidad y confort interior de la misma.

A continuación analizaremos las instalaciones y equipamientos existentes en cualquier edificio y usadas por sus habitantes.

El buen uso de los aparatos sanitarios y red del edificio evitan las averías innecesarias, por ejemplo el uso del inodoro como vertedero de basura -ya bien sólida o líquida- ya que pueden provocar fenómenos físico/químicos de destrucción y obstrucción en el recorrido por la instalación.

Los sifones y sumideros, vitales para la buena conservación, deben de revisarse periódicamente y comprobar el nivel de agua y sustancias obstructivas, y en el caso de observar anomalías subsanarlas inmediatamente, para que sigan cumpliendo la misión que les ha sido encomendada por su diseño.

Otro punto importante para la conservación es no utilizar productos agresivos para deshacer atascos, pues éstos producen «incrustaciones» o perforaciones que generan a la larga, averías peligrosas.

En la Tabla 10, se expresan las inspecciones necesarias para conservar la instalación en perfecto estado de uso.

La actuación en este tipo de instalaciones es provocada por averías puntuales o mal estado de arquetas, aparatos, juntas, asentamiento de red general horizontal, etc., al efectuar las inspecciones periódicas.

Tabla 10. *Inspecciones Instalaciones*

ELEMENTO	INSPECCIÓN	LIMPIEZA	ACTUACIÓN
Canalones / Sumideros	12 meses	6 meses	—
Red general horizontal	24 meses	—	—
Red general vertical	36 meses	—	—
Anclajes	36 meses	—	—
Arquetas	36 meses	12 meses	—

Tabla: adaptada por el autor

En la red de fontanería, hay que diferenciar dos instalaciones distintas, como son el servicio de agua fría potable y el de agua caliente sanitaria (ACS), lo cual determina dos mantenimientos distintos.

En el caso del agua caliente sanitaria (ACS), las instalaciones antiguas con más de 10 años aproximadamente al ser de tubo de hierro, las sales contenidas en el agua y la alta temperatura, originan reacciones químicas que forman «incrustaciones» de tipo calcáreo en las paredes interiores de los tubos, que obstruyen el caudal de agua y en casos llegan a anularlo, por lo que es conveniente una inspección anual por parte de personal cualificado.

Por lo expuesto se deduce que la red de ACS, exige un mantenimiento más exquisito y particularmente el aparato calefactor, con limpiezas anuales, para obtener el máximo rendimiento con el mínimo consumo energético.

Tabla 11. *Inspecciones Equipamientos*

ELEMENTO	INSPECCIÓN	LIMPIEZA	ACTUACIÓN
Perdida de agua / Grifos	6 meses	—	—
Tuberías de agua fría	12 meses	—	—
Tuberías de agua caliente	12 meses	12 meses	—
Calentador	12 meses	12 meses	10 años
Juntas de aparatos	24 meses	—	5 años
Contador de agua	24 meses	—	10 años
Limpieza canalización	—	10 años	10 años

Tabla: adaptada por el autor

Normativa relacionada:
DB-HS Salubridad
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HS.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 28 de marzo de 2006
Modificado por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007
Corrección de errores.
B.O.E.: 25 de enero de 2008

DB-HR Protección frente al ruido
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HR.
Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007
Corrección de errores.
B.O.E.: 20 de diciembre de 2007

Guía de aplicación del DB HR Protección frente al ruido
Ministerio de Vivienda y Ministerio de Ciencia e Innovación.
1 de agosto de 2009

5.7.1. Electricidad

Como regla general de uso, no se debe conectar a la red eléctrica aparato o aparatos que superen la potencia contratada con la compañía suministradora, pues aunque existen aparatos de control que suspenden el servicio (automáticos, diferencial, etc.) si es cierto que por recalentamiento de enchufes y cableado, se

pueden producir cortocircuitos que son la causa y origen de muchos incendios en los edificios. En éste sentido, el propietario debe conocer que cualquier cambio de uso de la vivienda o local debe suponer un nuevo proyecto de instalación eléctrica.

En cualquier caso, toda instalación eléctrica, en teoría, no sufre deterioros apreciables por el uso racional de la misma, aunque es necesario efectuar revisiones periódicas para apreciar la rigidez del cableado, mecanismos, etc., o la existencia de humedad en las cajas de registro o empalmes.

La Tabla 12 expone las revisiones periódicas necesarias para el perfecto funcionamiento de la instalación.

Tabla 12. *Inspecciones Electricidad*

ELEMENTO	INSPECCIÓN	ACTUACIÓN
Antena TV / FM	1 año	—
Portero electrónico	1 año	—
Vídeo-Portero	1 año	—
Acceso garaje	1 año	—
Toma de tierra	2 años	Posible
Instalación antena colectiva	4 años	—
Red de telefonía interior	4 años	—
Red general de electricidad	4 años	—
Cuarto de contadores	1 año	Posible
Cuadro de servicios	1 año	Puntual

Tabla: adaptada por el autor

Normativa relacionada:
Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Complementarias (ITC) BT 01 a BT 51
Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, del Ministerio de Ciencia y Tecnología.
B.O.E.: Suplemento al n.º 224, de 18 de septiembre de 2002

DB-HE Ahorro de energía
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HE.
Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, del Ministerio de Fomento.
B.O.E.: 12 de septiembre de 2013
Corrección de errores.
B.O.E.: 8 de noviembre de 2013

Real Decreto por el que se aprueba una nueva Instrucción Técnica Complementaria (ITC) BT 52 «Instalaciones con fines especiales. Infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos», del Reglamento electrotécnico para baja tensión, aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, y se modifican otras instrucciones técnicas complementarias del mismo

Real Decreto 1053/2014, de 12 de diciembre, del Ministerio de Industria, Energía y Turismo.
B.O.E.: 31 de diciembre de 2014

5.7.2. Gas Natural

En el caso de detectarse fuga de gas, ya bien sea por detectores electrónicos o por el olfato, se debe de cerrar la llave general de paso, quedando prohibido terminantemente el encender fósforos, pulsar timbres eléctricos o conmutadores de luz, en general poner en funcionamiento cualquier aparato que produzca chispa en su funcionamiento, hasta no ventilar el recinto en un mínimo de 12 horas.

Las conexiones de aparatos a la red general se efectuarán con tubos flexibles de longitud máxima de 1,50 m, con fecha de caducidad y abrazaderas desmontables de corredera o tubos rígidos de cobre unidos entre sí con soldadura de plata, anclados a la pared con abrazaderas desmontables distanciadas corno máximo 30-40 cm y en los codos 5-10 cm.

Los gases de uso en nuestros días son el Gas Natural, Butano o Propano. El primero menos pesado que el aire que los otros dos, pero todos ellos exigen una corriente de aire en el recinto donde se instale el aparato de gas -cocinas, calentadores, calderas de calefacción, bombonas de gas, etc.- instalando en la parte baja y alta de la habitación, lo más cercano al suelo y techo respectivamente, rejillas de ventilación con dimensión minima de 10xl0 cm con salida directa al exterior.

El mantenimiento de este servicio está regulado por Ministerio de Industria, Energía y Nuevas Tecnologías, mediante el Reglamento de Instalaciones y programas de inspección obligatoria cada 4 años, por parte de las Empresas suministradoras con sus instaladores homologados.

En la Tabla 13 se exponen las inspecciones periódicas, no obligatorias, pero recomendables para los usuarios para disfrutar de un servicio en perfectas y óptimas condiciones de consumo y seguridad.

Tabla 13. *Inspecciones Gas Natural*

ELEMENTO	INSPECCIÓN	LIMPIEZA	ACTUACIÓN
Depósito de gas	2 años	—	—
Prueba presión depósito gas	10 años	—	—
Chimenea, caldera calefacción	—	1 año	—
Caldera calefacción	Según Marca	Normativa	Normativa
Instalación privada	4 años	—	Sustitución goma
Instalación general	4 años	—	Llaves de paso

Tabla: adaptada por el autor

Normativa relacionada:
Modificación del Real Decreto 1428/1992, de aplicación de la Directiva 90/396/CEE, sobre aparatos de gas
Real Decreto 276/1995, de 24 de febrero, del Ministerio de Industria y Energía.
B.O.E.: 27 de marzo de 1995

Reglamento técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos y sus instrucciones técnicas complementarias ICG 01 a 011
Real Decreto 919/2006, de 28 de julio, del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
B.O.E.: 4 de septiembre de 2006

Reglamento de redes y acometidas de combustibles gaseosos e Instrucciones MIG
Derogado en aquello que contradiga o se oponga a lo dispuesto en el R.D. 919/2006.
Orden de 18 de noviembre de 1974, del Ministerio de Industria.
B.O.E.: 6 de diciembre de 1974

Real Decreto por el que se establecen los requisitos esenciales de seguridad para la comercialización de los equipos a presión
Real Decreto 709/2015, de 24 de julio, del Ministerio de Industria, Energía y Turismo.
B.O.E.: 2 de septiembre de 2015

5.7.3. Calefacción y refrigeración

Estos equipamientos destinados a proporcionar el confort interior del edificio, para uso y disfrute de sus habitantes, se deben de mantener de acuerdo a la Normativa

Oficial vigente y a las instrucciones de uso y conservación de la firma fabricante, para de esta forma ahorrar energía, disminuir la emisión de gases nocivos a la atmósfera (Directiva 93176/CEE), en consecuencia obtener el rendimiento óptimo de la instalación.

Tabla 14. *Revisión climatización*

ELEMENTO	REVISIÓN	LIMPIEZA	ACTUACIÓN
Revisión caldera, inicio servicio	1 mes	—	—
Comprobación manómetro	1 mes	—	—
Comprobación termómetro	1 mes	—	—
Comprobación llaves caldera	1 mes	—	—
Rejillas difusoras	—	1 mes	6 meses
Junta caldera / chimenea	6 meses	—	—
Instalación caldera / refrigerador	1 año	—	—
Caldera o refrigerador	1 año	—	—
Estanquidad circuito calefacción	4 años	—	—
Filtros y válvulas	—	1 año	—
Purgado circuito calefacción	—	1 año	—

Tabla: adaptada por el autor

Hay que comentar que los radiadores que contengan aire en su interior, no calientan al no circular el agua por el interior y si son de hierro se produce óxido en sus paredes, con un deterioro más rápido, por lo que es aconsejable y conveniente purgarlos periódicamente y si no existen purgadores dotarlos de este mecanismo.

Normativa relacionada:
Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (RITE) y sus Instrucciones técnicas (IT)
Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, del Ministerio de la Presidencia.
B.O.E.: 29 de agosto de 2007

Modificación de determinados artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios, aprobado por Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio
Real Decreto 238/2013, de 5 de abril, del Ministerio de la Presidencia.
B.O.E.: 13 de abril de 2013

DB-HR Protección frente al ruido
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HR.
Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007
Corrección de errores.
B.O.E.: 20 de diciembre de 2007

Real Decreto por el que se establecen los requisitos esenciales de seguridad para la comercialización de los equipos a presión
Real Decreto 709/2015, de 24 de julio, del Ministerio de Industria, Energía y Turismo.
B.O.E.: 2 de septiembre de 2015

DB-HE Ahorro de energía
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HE.
Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, del Ministerio de Fomento.
B.O.E.: 12 de septiembre de 2013
Corrección de errores.
B.O.E.: 8 de noviembre de 2013

6. Objetivos del mantenimiento de edificios

El mantenimiento de un edificio se puede considerar una condición complementaria del Proyecto de ejecución, para garantizar la vida de la edificación y de todos sus componentes, lo cual sería un factor a tener en cuenta por parte del técnico proyectista generando un «manual» específico que entregaría al mismo tiempo que el inmueble, al propietario o comunidad.

Con la figura del *Libro del Edificio*, desde el inicio de la puesta en servicio de la construcción, queda reflejada la responsabilidad del propietario o comunidad, a nivel individual o global, de la conservación y mantenimiento de su propiedad.

El *Libro del Edificio* debe de contener obligatoriamente la siguiente documentación:

— *Datos relativos a la construcción:* Empresa constructora y subcontratas que han intervenido en las distintas fases de obra –aportando fechas, direcciones, datos registrales y fiscales con los responsables en ese momento-, así como las garantías de cada uno de ellos.

— *Documentación final de obra:* El Proyecto de Ejecución no suele ser un Documento muy fiable, porque las modificaciones efectuadas durante la construcción no quedan reflejadas en el mismo, por lo tanto y como mínimo se debe de entregar una Memoria con las modificaciones al Proyecto original con toda clase de detalles.

Fundamentalmente estos documentos son necesarios a la propiedad o comunidad para tener conocimiento de los planos definitivos de estructura, tabiques divisorios, instalaciones, etc., para que cuando se presente una avería o modificación no alterar o deteriorar la composición y estabilidad del edificio.

— *Documentación de Seguridad:* Debido al alto nivel de tecnificación que poseen los edificios -aunque las construcciones de viviendas no llegan a este grado- contienen ciertos elementos cuyo manejo debe de estar preestablecido, para lo cual se debe de aportar 111I0 amplia documentación técnica para la manipulación de los mismos por los habitantes del inmueble o por otras personas que vayan a realizar trabajos de revisión o reparación de instalaciones.

Finalmente, cabría completar el referido «Libro del Edificio» con otros contenidos como podría ser la evacuación de las personas del edificio en caso de incendio u otra catástrofe, aunque el fin primordial del referido Libro es conocer el correcto procedimiento para el Mantenimiento de la edificación.

— *Documentación de Conservación/Mantenimiento:* Se reflejará en el Libro, toda actuación, obra o modificación encaminadas a la conservación o mantenimiento, así como el nombre de la subcontrata, nombre del responsable y garantía de los trabajos.

Así, con el mantenimiento de edificios, se conseguirá, como mínimo una revisión del edificio y de esta forma poseer un parque inmobiliario con buena salud y aspecto estético agradable, tanto a los residentes como visitantes, evitando en lo posible los accidentes no previstos ni deseados.

7. Informe de Evaluación del Edificio

7.1. *¿Qué es el IEE.CV y cuando es necesario?*

Es un documento técnico que recoge la información del edificio y su evaluación en relación con su estado de conservación, las condiciones de accesibilidad y la certificación de eficiencia energética.

Los propietarios de edificios de tipología residencial de vivienda colectiva deberán promover la realización del informe IEE.CV en los siguientes supuestos:

1. En edificios de antigüedad superior a 50 años.
2. Edificios cuyos titulares pretendan acogerse a ayudas públicas para obras de rehabilitación.
3. En edificios catalogados, y en aquellos que así lo determine la normativa autonómica o municipal.

El Informe se puede realizar a través del programa informático IEE.CVWIN:

Para descargar la aplicación acceder a los siguientes *enlaces*.
http://www.citma.gva.es/web/vivienda-y-calidad-en-la-edificacion/informe-de-evaluacion-del-edificio
http://www.citma.gva.es/documents/20558636/90492736/Manual+IEE_CV/

Para descargar las fichas de campo acceder al siguiente *enlace*.
http://www.citma.gva.es/documents/20558636/90492736/FICHAS+DE+CAMPO/3bef20bc-0b2b-4df1-b226-9a9dab59ed22

7.2. *Estructura y redacción del informe/dictamen*

7.2.1. Aspectos previos: identificación y caracterización

- Título,
- Identificación del perito,
- Peticionario,
- Datos de agentes intervinientes (Promotor, Constructor, Arquitecto, Arquitecto Técnico, etc.)
- Fechas de referencia (Inicio de las obras, Certificado final, etc),
- Legislación aplicable y Periodos de Garantía (LOE, etc).
- Reseña de la Documentación examinada/ensayos, muestras, etc.

Fuentes de la misma, laboratorio, técnico,
Resultado de investigación realizada,
Documentación consultada, inspecciones, etc.,
Material utilizado: proyectos, libros de órdenes, planes generales, etc.

En caso de tratarse de un dictamen pericial:

- Tipo y número del procedimiento (ordinario, contencioso, verbal, et.)
- Juzgado o Tribunal en que sigue Partes en conflicto (demandante, demandado, codemandado, procuradores, etc.)
- Manifestaciones sobre veracidad, objetividad y sanciones penales obligación de manifestar, bajo juramento o promesa de decir la verdad. (Art. 335.2 LEC).

7.2.2. Módulo central del informe/dictamen

- Objeto del informe/dictamen,
- Descripción del edificio,
- Análisis pormenorizado.

Se procederá a describir:

- Deficiencias, lesiones o daños concretos,
- Ubicación, alcance, extensión de las lesiones (puntuales, localizadas, parcial, generalizadas) y estimación de su importancia (leves, graves o m u y graves),
- Acciones a seguir en caso de lesione graves o con riesgo inminente.
- Se debe incorporar una valoración económica estimada o detallada en la que incluir medidas de seguridad y salud, gestión de residuos, control de calidad, licencias, tasas, impuestos, etc.

Una vez obtenido el P.E.M, repercutir:

- Los Gastos Generales,
- El Beneficio Industrial,
- El IVA que fuere de aplicación.

7.2.3. Preparación de la inspección

Programación, es recomendable:

- Seguir un orden equivalente al proceso constructivo,
- Establecer unidades mínimas de inspección,
- Es conveniente agrupar,
- Correcta identificación (Escalera, bloque, planta, vivienda, anotar la hora de la visita).

Fichas de campo:

- Ficha de Datos Generales,
- Fichas de Inspección de unidades constructivas,
- Acta de Inspección.

Utensilios: cámara de fotos, brújula, medidor láser, medidor de espesores, linterna, cuaderno de notas, etc.

7.2.4. Acta de evaluación energética

Con la herramienta CERMA se puede abrir el archivo .xml que genera el programa del IEE.CV.

Desde CERMA se pueden importar todos los datos y así obtener la calificación energética del estado actual y reformado del edificio.

Además CERMA permite especificar más algunos datos que influyen en la calificación.

La herramienta genera una certificación energética en la que tiene en cuenta posibles mejoras de ahorro de energía.

7.3. *Mecánica y desarrollo del IEE*

Las Ordenanzas Municipales, determinan las inspecciones técnicas a realizar en el edificio, en elementos vitales para la vida y estabilidad del mismo, las cuales se relacionan a continuación.

- Estado General de la Estructura y Cimentación.
- Estado General de las Fachadas Interiores, Exteriores y Medianeras del edificio, así como todo elemento constructivo u ornamental que suponga un peligro para la vía pública.
- Estado General de Cubiertas y Azoteas.
- Estado General de la Red de Fontanería y Saneamiento.

En términos generales, el Técnico inspector debe de observar toda clase de patologías que afecten a la estabilidad e integridad del edificio.

Antes de iniciarse el IEE, el Técnico inspector tendrá en su poder una carta de encargo por parte de la propiedad o comunidad, donde quede reflejada la necesidad de sus servicios y coste de la inspección, incluidos honorarios y gastos imprevistos como partida adicional aproximada.

La inspección técnica quedará reflejada en un modelo oficial de «Acta de inspección» e informe sobre cada una de las inspecciones exigidas por el IEE, expresando al final de las mismas el resultado *favorable* o *desfavorable* de cada una de ellas.

Si en el desarrollo de la inspección técnica —para determinar la importancia y grado de la patología existente— fuera precisa la utilización de medios auxiliares como andamios, ocupación de vía pública, ensayos, etc., los costes de los mismos se sumarán a los honorarios profesionales.

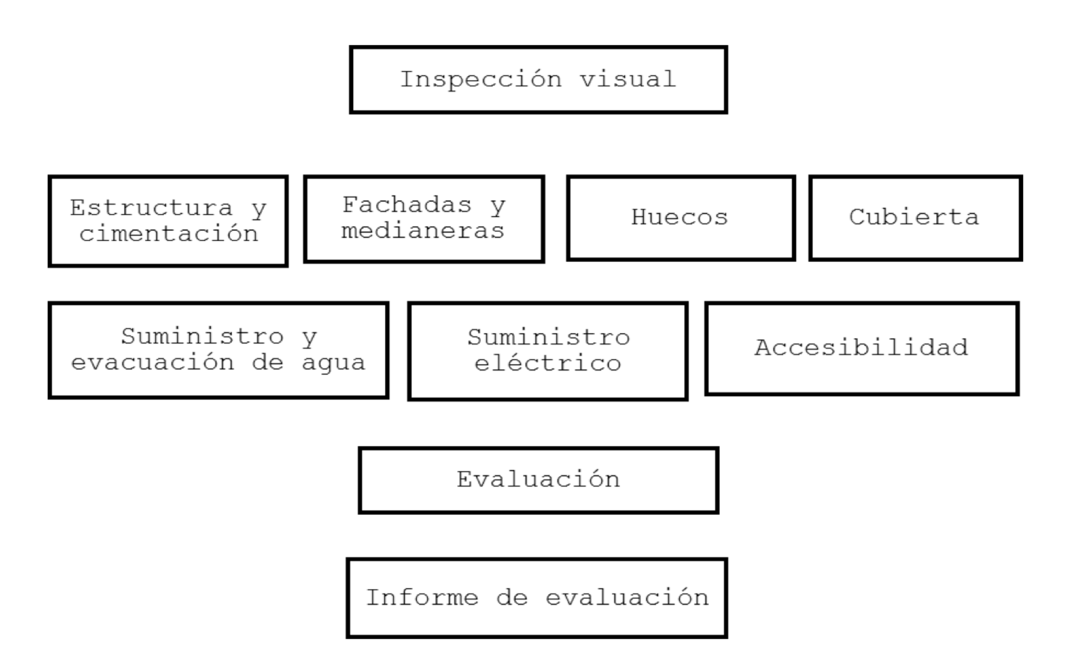
Si transcurrido el plazo concedido, no se hubieran realizado las reparaciones necesarias, se amonestará a la propiedad dando un nuevo plazo y si finalizado éste no estuviesen terminadas las obras de reparación, el Ayuntamiento se hará cargo de las mismas por cuenta de la propiedad o comunidad.

El IEE, en sí mismo, consta de tres partes bien definidas, como son: 1. El historial constructivo, 2. El historial patológico y 3. Las mejoras en ahorro de energía y accesibilidad.

Finalmente se rellenarán los impresos oficiales, donde quedará definida si el IEE ha sido *favorable* o *desfavorable*, conforme expone la Ordenanza Municipal.

Posteriormente el Técnico inspector pasará todos los Documentos del IEE por su Colegio Profesional para ser visados y entregará a la propiedad o comunidad.

Tabla 15. *inspección, mecánica y desarrollo*



7.4. *Patologías más frecuentes*

En todo edificio, después de los años transcurridos, se presentarán unas patologías propias y a veces singulares que tendrán que ser estudiadas en cada caso con la profundidad que requieran, pero por regla general existen una serie de alteraciones y deterioros que se van a exponer y desarrollar.

Las zonas arquitectónicas que se contemplan durante la Inspección Técnica, son las consideradas vitales o más agredidas por el paso del tiempo y agentes atmosféricos, las cuales citamos a continuación.

1. Inspección de estabilidad y resistencia mecánica del esqueleto del edificio.
Esta inspección consiste en un examen visual o analítico del estado actual de la estructura y cimentación del edificio.

2. Inspección de la estabilidad y grado de deterioro de los cerramientos exteriores verticales.
Esta inspección se encamina a una observación visual o analítica del estado actual de los cerramientos exteriores verticales, así como el grado de deterioro de los revestimientos, chapados, elementos ornamentales, etc.

3. Inspección de la permeabilidad al agua de lluvia de los cerramientos exteriores horizontales.
Esta inspección tiene por objeto el examen visual de la cubierta del edificio, tanto por su cara interior como exterior, observando el estado de desagües, pendientes e instalaciones ubicadas en la misma, así mismo se revisará el estado de azoteas, terrazas, etc.

4. Inspección de las instalaciones básicas del edificio.
Esta inspección se encamina al examen y revisión de las instalaciones de Fontanería y Saneamiento, realizando si es necesario pruebas de funcionamiento para verificar su estado en ese momento.

Las Inspecciones básicas a realizar, se desarrollan a continuación detallando la Patología, Diagnosis y Actuación o actuaciones necesarias.

Tabla 17. *Listado de deficiencias de conservación del edificio.*

DEFICIENCIAS EN CIMENTACIÓN	
Cimentación	Fisuras y/o grietas en los cerramientos del edificio derivadas de problemas en cimentación
	Fisuras y/o grietas en elementos estructurales del edificio derivadas de problemas en cimentación
	Fisuras y/o grietas en tabiquería derivadas de problemas en cimentación
	Asiento de pilares derivado de problemas en cimentación
	Asiento de soleras derivado derivadas de problemas en cimentación
	Deformación y/o rotura de solados derivado derivadas de problemas en cimentación
	Abombamiento de muros de contención
	Otras deficiencias en Cimentación
DEFICIENCIAS EN ESTRUCTURA	
Estructura Vertical	Deformaciones, fisuras y/o grietas en interior del edificio derivadas de problemas en la estructura vertical
	Deformaciones, fisuras y/o grietas en los cerramientos del edificio derivadas de problemas en la estructura vertical
	Abombamientos, desplomes y/o desniveles de muros de carga de la estructura vertical
	Presencia de xilófagos en elementos de madera de la estructura vertical
	Corrosión de elementos metálicos de la estructura vertical
	Patologías y degradación del hormigón en elementos de la estructura vertical
	Fisuras en pilares de la estructura vertical
	Presencia de humedades y/o filtraciones en elementos de la estructura vertical
	Otras deficiencias en la Estructura Vertical

Estructura Horizontal	Fisuras y/o grietas en forjados
	Fisuras y/o grietas en vigas
	Deformaciones anormales del forjado
	Deformación y/o rotura de solados derivados de problemas de la estructura horizontal
	Presencia de xilófagos en elementos de madera de la estructura horizontal
	Corrosión de elementos metálicos de la estructura horizontal
	Patologías y degradación del hormigón en elementos de la estructura horizontal
	Rotura y/o desprendimientos de elementos del forjado
	Presencia de humedades y/o filtraciones en elementos de la estructura horizontal
	Otras deficiencias en la Estructura Horizontal: Aluminosis
	Otras deficiencias en la Estructura Horizontal: Pérdida de tensión pretensado
	Otras deficiencias en la Estructura Horizontal
Estructura de Cubierta	Deformación de faldones de la estructura de cubierta
	Fisuras y/o grietas en la estructura de cubierta
	Presencia de xilófagos en elementos de madera de la estructura de cubierta
	Corrosión en elementos metálicos de la estructura de cubierta
	Patologías y degradación del hormigón en la estructura de cubierta
	Roturas y/o desprendimientos de elementos de la estructura de cubierta
	Presencia de humedades y/o filtraciones en la estructura de cubierta
	Otras deficiencias en Estructura de Cubierta
Estructura de Escaleras	Fisuras y/o grietas en estructura de escaleras
	Abombamiento de muros de escalera
	Desnivel y/o deformación de las zancas en estructura de escaleras
	Presencia de xilófagos en elementos de madera de la estructura de escalera
	Rotura y/o desprendimientos de elementos de escaleras
	Otras deficiencias en la Estructura de Escaleras
DEFICIENCIAS EN CERRAMIENTOS VERTICALES	
Cerramientos Verticales: Fachadas, medianerías y huecos.	Fisuras y/o grietas en los cerramientos de las fachadas exteriores
	Fisuras y/o grietas en los cerramientos de las fachadas de patios
	Fisuras y/o grietas en las medianerías
	Abombamiento de muros de cerramiento
	Deformación o rotura de carpinterías de huecos
	Degradación, erosión y/o riesgo de desprendimiento de los materiales de la fábrica de cerramiento
	Humedades de capilaridad en los muros de cerramiento
	Humedades por filtraciones en los muros de cerramiento, carpinterías y encuentros
	Humedades por condensación u otras causas en los muros de cerramiento, carpinterías y encuentros
	Presencia de vegetación y/o microorganismos (moho, musgo, bacterias...) en muros de cerramiento
	Degradación o ausencia de juntas entre edificios en fachadas
	Riesgo de desprendimiento de elementos adosados a las fachadas
	Degradación o ausencia de aislamiento térmico en fachadas y medianerías
	Otras deficiencias en los muros de cerramiento

Acabados de Fachada	Fisuras y/o grietas en revoco de las fachadas exteriores
	Fisuras y/o grietas en revoco de fachadas de patios
	Abombamiento del revoco en muros de cerramiento
	Humedades en revoco de muros de cerramiento
	Presencia de vegetación y de microorganismos (moho, musgo, bacterias ...) en revoco de muros de cerramiento
	Abombamiento, degradación, erosión de los materiales y/o riesgo de desprendimiento del revoco de Fachadas
	Degradación de los paneles, placas y elementos prefabricados de cerramiento en fachadas
	Degradación de los anclajes de sujeción de aplacados, paneles y placas de cerramiento
	Otras deficiencias en los acabados de fachada: Deterioro de revestimiento de pintura
Carpintería Exterior y Acristalamiento	Deformación y/o rotura de carpinterías exteriores
	Presencia de microorganismos en carpintería Exterior (moho, musgo, bacterias ...) o de xilófagos en carpintería exterior de madera
	Erosión de los materiales en carpintería Exterior y/o corrosión de elementos metálicos en carpintería exterior
	Ausencia de acristalamientos o vidrios rotos y/o desprendidos
Elementos Adosados a Fachada	Mal estado y/o riesgo de desprendimiento de los Elementos Adosados a Fachada como: bajantes, chimeneas, farolas, antenas, marquesinas, tendederos, toldos, cableados, equipos de climatización, etc.
Otros Elementos de Fachada	Mal estado y/o riesgo de desprendimiento de Elementos de fachada como: aleros, cornisas, voladizos, miradores, etc.
	Mal estado y/o riesgo de desprendimiento de Defensas como: barandillas, antepechos, petos, balaustradas, vallas, rejas, cierres de seguridad, etc.
Otras Deficiencias	Otras deficiencias en cerramientos verticales
DEFICIENCIAS EN AZOTEAS Y CUBIERTAS	
Azoteas y Cubiertas Planas	Ausencia, deformación y/o rotura de las membranas impermeabilizantes en azoteas
	Ausencia, deformación y/o roturas del pavimento en azoteas
	Ausencia, deformación y/o roturas de Juntas de dilatación en azoteas
	Manifestación de filtraciones y/o goteras procedentes de azoteas
	Manifestación de condensaciones en el interior derivadas de las azoteas
	Presencia de vegetación y/o de microorganismos (moho, musgo, bacterias...) en azoteas
	Anidamiento de aves en azoteas
	Rotura, obstrucciones u otras deficiencias en sumideros, cazoletas y elementos de desagüe en azoteas
	Otras deficiencias en Azoteas (incluyendo ausencia de aislamiento térmico):
Cubiertas Inclinadas	Deformación y/o rotura de los faldones de cubierta
	Desprendimiento y/o roturas de las piezas de cobertura: tejas, placas, etc.
	Deformación y/o roturas de juntas de dilatación en cubiertas
	Manifestación de filtraciones y/o goteras derivadas de la cubierta
	Manifestación de condensaciones en el interior de la cubierta
	Presencia de vegetación y/o de microorganismos (moho, musgo, bacterias...) en la cubierta
	Anidamiento de aves en cubierta
	Rotura, obstrucciones u otras deficiencias de los canalones en cubierta
	Otras deficiencias en Cubiertas Inclinadas (incluyendo ausencia de aislamiento térmico):

Otros Elementos de Cubierta	Mal estado y/o riesgo de desprendimiento de Otros Elementos de Cubierta, como: lucernarios, claraboyas y ventanas, chimeneas y shunts, antenas, casetón del ascensor, etc.
DEFICIENCIAS EN INSTALACIONES COMUNES DEL EDIFICIO	
Instalación de Abastecimiento de Agua	Humedades y/o Filtraciones derivadas de fugas en las conducciones y tuberías de abastecimiento y distribución de agua
	Otras deficiencias en la instalación de Abastecimiento de agua: Corrosión electrolítica
Instalación de Saneamiento	Humedades y/o Filtraciones derivadas de fugas en las conducciones y tuberías de saneamiento
	Problemas de pocería y atascos en las conducciones de saneamiento
	Otras deficiencias en la instalación de Saneamiento

Fuente: Anexo II Informe Evaluación del Edificio del RD 233/2013 de 5 de abril.

8. Bibliografía

Calavera Ruiz, José. 2003. *Manual para la redacción de informes técnicos en Construcción*. Madrid. Intemac.

Cecchini, Cecilia. 1999. «Mantenimiento, durabilidad, seguridad y economía» en Díaz, César (Ed). *El mantenimiento de los edificios desde el inicio del proyecto al final de su vida útil*. Barcelona. Col.legi d'Arquitectes de Catalunya.

Coscollano Rodríguez, José. 2003. *Restauración y Rehabilitación de Edificios*. Madrid. Thomson-Paraninfo.

Gorse, Christopher y Highfield, David. 2009. *Refurbishment and Upgrading of Buildings*. London & New York. Spon Press – Taylor and Francis.

Labastida, Francesc. 1999. «Las operaciones de mantenimiento y sus plazos en los edificios de viviendas» en Díaz, César. (Ed). *El mantenimiento de los edificios desde el inicio del proyecto al final de su vida útil*. Barcelona. Col.legi d'Arquitectes de Catalunya.

Monjó Carrión, Juan J. y Luis Maldonado Ramos. 2005. *Manual de Inspección Técnica de Edificios*. Madrid. Munilla-Lería.

Ramírez de Arellano Agudo, Antonio. 2000. *Aspectos económicos de la recuperación de edificios*. Sevilla. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.

Serrano Alcudia, Francisco. 2007. *Estudio integral de los edificios. La lógica de su procedimiento*. Madrid. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Madrid.

Valiente Ochoa, Esther. 2011. *Manual del Ingeniero de Edificación: Guía para la inspección edilicia*. Valencia. Editorial UPV.

9. Normativa

9.1. *Código Técnico de la Edificación*

Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana
Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30 de octubre, del Ministerio de Fomento.
B.O.E.: 31 de octubre de 2015

DB-SE-C Seguridad estructural: Cimientos
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SE-C.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 28 de marzo de 2006
Modificado por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007

DB-SE-AE Seguridad estructural: Acciones en la edificación
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SE-AE.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 28 de marzo de 2006
Modificado por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007
Corrección de errores.
B.O.E.: 25 de enero de 2008

DB-SE-A Seguridad estructural: Acero
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SE-A.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 28 de marzo de 2006
Modificado por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007
Corrección de errores.
B.O.E.: 25 de enero de 2008

Instrucción de Acero Estructural (EAE)
Real Decreto 751/2011, de 27 de mayo, del Ministerio de la Presidencia.
B.O.E.: 23 de junio de 2011

DB-SE-M Seguridad estructural: Madera
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SE-M.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 28 de marzo de 2006
Corrección de errores.
B.O.E.: 25 de enero de 2008

Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08)
Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, del Ministerio de la Presidencia.
B.O.E.: 22 de agosto de 2008

DB-SE-F Seguridad estructural: Fábrica
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SE-F.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 28 de marzo de 2006
Modificado por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007
Corrección de errores.
B.O.E.: 25 de enero de 2008

Norma de Construcción Sismorresistente: parte general y edificación (NCSE-02)
Real Decreto 997/2002, de 27 de septiembre, del Ministerio de Fomento.
B.O.E.: 11 de octubre de 2002

Procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios
Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, del Ministerio de la Presidencia.
B.O.E.: 13 de abril de 2013

DB-HE Ahorro de energía
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HE.
Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, del Ministerio de Fomento.
B.O.E.: 12 de septiembre de 2013
Corrección de errores.
B.O.E.: 8 de noviembre de 2013

DB-HS Salubridad
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HS.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 28 de marzo de 2006



Modificado por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007
Corrección de errores.
B.O.E.: 25 de enero de 2008

DB-SUA Seguridad de utilización y accesibilidad
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SUA.
Real Decreto 173/2010, de 19 de febrero, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 11 de marzo de 2010

Guía de aplicación del DB HR Protección frente al ruido
Ministerio de Vivienda y Ministerio de Ciencia e Innovación.
1 de agosto de 2009

DB-HR Protección frente al ruido
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HR.
Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007
Corrección de errores.
B.O.E.: 20 de diciembre de 2007

DB-SI Seguridad en caso de incendio
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SI.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 28 de marzo de 2006
Modificado por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007
Corrección de errores.
B.O.E.: 25 de enero de 2008

Clasificación de los productos de construcción y de los elementos constructivos en función de sus propiedades de reacción y de resistencia frente al fuego
Real Decreto 842/2013, de 31 de octubre, del Ministerio de la Presidencia.
B.O.E.: 23 de noviembre de 2013

Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Complementarias (ITC) BT 01 a BT 51
Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, del Ministerio de Ciencia y Tecnología.
B.O.E.: Suplemento al n.º 224, de 18 de septiembre de 2002

Real Decreto por el que se aprueba una nueva Instrucción Técnica Complementaria (ITC) BT 52 «Instalaciones con fines especiales. Infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos», del Reglamento electrotécnico para baja tensión, aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, y se modifican otras instrucciones técnicas complementarias del mismo
Real Decreto 1053/2014, de 12 de diciembre, del Ministerio de Industria, Energía y Turismo.
B.O.E.: 31 de diciembre de 2014

Modificación del Real Decreto 1428/1992, de aplicación de la Directiva 90/396/CEE, sobre aparatos de gas
Real Decreto 276/1995, de 24 de febrero, del Ministerio de Industria y Energía.
B.O.E.: 27 de marzo de 1995

Reglamento técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos y sus instrucciones técnicas complementarias ICG 01 a 011
Real Decreto 919/2006, de 28 de julio, del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
B.O.E.: 4 de septiembre de 2006

Reglamento de redes y acometidas de combustibles gaseosos e Instrucciones MIG
Derogado en aquello que contradiga o se oponga a lo dispuesto en el R.D. 919/2006.
Orden de 18 de noviembre de 1974, del Ministerio de Industria.
B.O.E.: 6 de diciembre de 1974

Real Decreto por el que se establecen los requisitos esenciales de seguridad para la comercialización de los equipos a presión
Real Decreto 709/2015, de 24 de julio, del Ministerio de Industria, Energía y Turismo.
B.O.E.: 2 de septiembre de 2015

Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (RITE) y sus Instrucciones técnicas (IT)
Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, del Ministerio de la Presidencia.
B.O.E.: 29 de agosto de 2007

Modificación de determinados artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios, aprobado por Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio

Real Decreto 238/2013, de 5 de abril, del Ministerio de la Presidencia. B.O.E.: 13 de abril de 2013

9.2. *Normas Tecnológicas*

NTE, Normas tecnológicas de la edificación [Recurso electrónico-CD-ROM]. Edición: 6.ª edición. Madrid: Soft. 2005. Colección completa de detalles NTE en formatos PDF, DWG,DXF, WMF, GSM, DGN y Presto.

10. Software Técnico-Comercial

Arquímedes y generador de precios CYPE / AutoCAD. Autodesk / REVIT. Autodesk

Base de datos de construcción de la Comunidad Valenciana. Instituto Valenciano de la Edificación.

Base de datos Precio Centro Guadalajara. Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de Guadalajara.

11. Material docente complementario

Esta unidad didáctica se complementa con material gráfico de varios Casos Particulares de Inspección.

Unidad didáctica 1
http://bit.ly/2pnGIrq



CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EDIFICIOS

Unidad didáctica 2

Patología, diagnosis e intervención en cimentaciones

ÍNDICE


Juan Antonio García Esparza
ISBN: 978-84-17429-28-7

DOI:http://dx.doi.org/10.6035/Sapientia144

Esta unidad didáctica se complementa con material gráfico de Casos Particulares de Estudio en obras de rehabilitación:

- Iglesia Parroquial de Losa del Obispo, Valencia.
- Mercado Central de Valencia.
- Iglesia Parroquial de Vistabella del Maestrazgo, Castellón.
- Mercado de Colón, Valencia.

Patología, diagnosis e intervención en cimentaciones

1. Geotecnia aplicada a la diagnosis

El reconocimiento del terreno, tanto de campo como de laboratorio, así como la correspondiente interpretación de los datos obtenidos resulta imprescindible para poder efectuar una buena previsión del comportamiento del terreno bajo la presión de los cimientos de un edificio.

Hasta hace pocos años, y para algunos todavía ahora, el reconocimiento del terreno era inadecuado e incompleto. Hay que decir que, últimamente, el estudio del terreno ha mejorado progresivamente, bastante paralelo al avance general del conjunto de las ciencias y técnicas.

Una exploración del terreno, para no caer en situaciones extremas, debe ser programada de acuerdo con las condiciones y naturaleza del terreno por un lado, y del volumen y las necesidades del proyecto por el otro.

Un reconocimiento del terreno, por regla general, deberá comprender las siguientes partes:

- Una inspección previa superficial y recogida de antecedentes
- Un reconocimiento del terreno profundidad con ensayos de campo
- Ensayos de laboratorio con las muestras obtenidas en la fase segunda

2. Sintomatología. Lesiones en los cimientos y sistemas de contención

2.1. *El cimiento*

La mayor parte de los cimientos están construidos con hormigón en masa o hormigón armado. En estos edificios, las lesiones originadas por defectos o carencias en el cimiento son debidas, mayoritariamente, a errores en el proyecto o en la ejecución de los cimientos. La inexistencia de un estudio geotécnico fiable o el exceso de confianza en el conocimiento de experiencias cercanas pueden comportar riesgos importantes.

2.1.1. Sintomatología. Lesiones en los edificios

Las lesiones aparentes más comunes en los edificios, debidas a los cimientos, se pueden sintetizar en:

- Deformaciones: desplomes
- Fisuras o grietas, según el tamaño: por asentamientos (verticales) y / o desplazamientos (horizontales)
- Degradaciones los materiales componentes para ataque del medio
- Colapsos parciales o totales

De la observación de un desplome (giro de un edificio con respecto a su pie) que puede ocurrir en aquellos edificios que por su rigidez se comportan de una forma unitaria, se puede identificar la zona donde el terreno es más compresible, en una lesión típica de edificios en torre, silos, etc.

De la observación de la lesión en forma de fisura o grieta, tenemos que hacer las siguientes consideraciones:

- Su situación y su forma
- ¿Hacia dónde se cierra o se abre
- Entre las paredes internas de la abertura: se ha conservado el plano?, Un baja más que el otro?, Hay un cambio de aplomo?
- Está estabilizada?

Un cambio del plano vertical de los labios de una grieta puede indicar un asentamiento. Una apertura sin cambio de plano vertical puede indicar un desplazamiento horizontal, un cambio de aplomo entre los labios puede indicar un desplazamiento en sentido perpendicular a la apertura o bien un giro, etc. La experiencia en el conocimiento de muchos casos similares puede ser es la mejor herramienta para descifrar lo que significa una lesión en forma de fisura o de grieta. Los motivos por los que pueden aparecer lesiones del mismo tipo que las mencionadas pueden ser diversos y, por tanto, hay que evitar confundirlos, ya que se podrían producir errores considerables. Tenemos ejemplos en las deformaciones de techos (flechas), los empujones térmicas (retracciones o dilataciones).

2.1.1.1. Deformaciones verticales: asientos

La causa principal de lesiones en los edificios debidas a los terrenos son los asentamientos, definiendo por asentamiento la consolidación bajo carga de un suelo. Esta consolidación dependerá, naturalmente, de los tipos de suelo y, por tanto, de la deformación máxima a alcanzar por éste, y del tiempo necesario para llegar.

Un mismo asiento puede provocar lesiones diferentes por el mismo tipo estructural según sea la calidad en la ejecución.

En la figura 2.1 podemos observar un ejemplo de estructura de paredes de ladrillo.

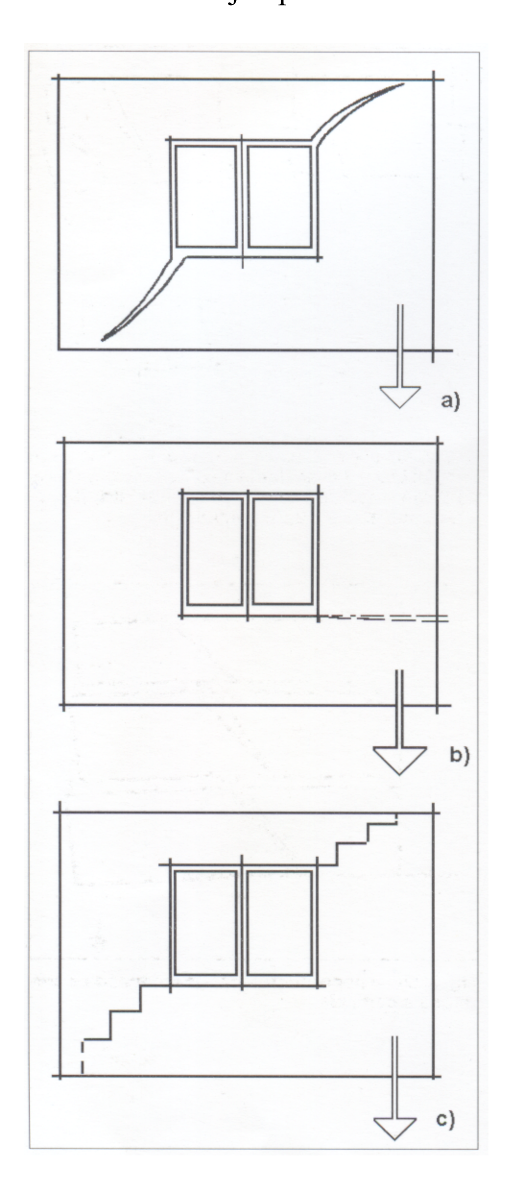


Figura 2.1.

El caso *a*) sería el representativo de una fábrica bien construida y homogénea con la adherencia adecuada; el caso *b*) sería cuando se ha creado una junta fría a nivel de aperturas, y el caso *c*) sería cuando la resistencia del mortero es inferior a la del ladrillo y la lesión sigue la junta entre piezas, eso sí, con la misma dirección que en el caso *a*).

Se deben distinguir dos tipos de asientos, los totales y los diferenciales, referidos estos últimos a la diferencia de asentamientos dentro de unos mismos fundamentos. En la mayor parte de los estudios actuales que hacen las empresas de geotecnia fijan el valor de una pulgada (25 mm) como el máximo admisible para cimientos superficiales aislados.

Tabla 2.1. *Límites de asentamiento*

Límites de asentamientos más de acuerdo con la tipología contructiva y con el tipo de suelo		
Obras monumentales de estructura muy rígida (piedra)	Arenas Arcillas y limos	12 mm 25 mm
Estructuras hiperestáticas de hormigón y de acero con planimetría rígida.	Arenas Arcillas y limos	30 mm 50 mm
Estructuras isoestáticas de hormigón y de acero y planimetría flexible Paredes de obra de fábrica	Arenas Arcillas y limos	50 mm 75 mm

Tabla según: Bellmunt i Ribas, Rafael. 1998.

2.1.1.2. Deformaciones verticales: desplomes

En edificios amados o entre juntas de dilatación, los desplomes o la inclinación vertical máxima admisible en los edificios se puede evaluar en un 1/750 de la altura total del edificio. La separación entre edificios que ello conlleva evita que un edificio pueda apoyar encima de otro.

2.1.1.3. Lesiones por asentamiento en edificios con estructura de obra de fábrica

Las lesiones que pueden aparecer en los edificios dependerán de la mayor o menor facilidad que tengan sus estructuras y cerramientos para absorber tracciones.

En cuanto a los edificios con estructura y con cierres de materiales de comportamiento pétreo (piedra, ladrillo, bloque de mortero, ...) ya la vez homogéneos, las lesiones típicas son coincidentes con las isostáticas de compresión. Esto nos permitirá, según la situación y la dirección de la lesión, determinar qué tipo de asentamiento la ha provocado: extremo, central, con un ámbito corto o largo, etc. (ver figura 2.2).

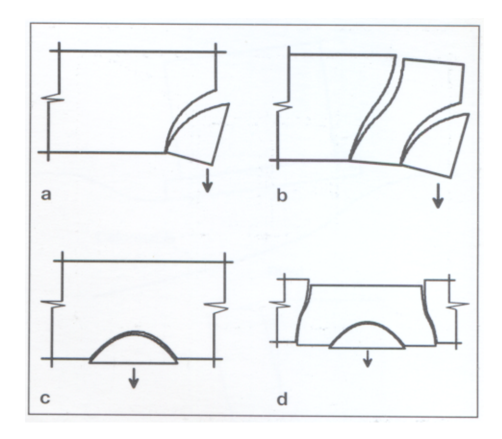


Figura 2.2. Lesiones por asentamiento en fábricas

Si los asientos son cortos predomina dentro de las solicitaciones del esfuerzo cortante, mientras que en los asentamientos muy largos la solicitación predominante son los esfuerzos normales (símil de comportamiento como viga). La presencia de elementos resistentes a la tracción como aros, jácenas o dinteles puede modificar el trazado de la lesión representada en las figuras anteriores. En este caso las lesiones suelen ser menos importantes (ver figura 2.3).

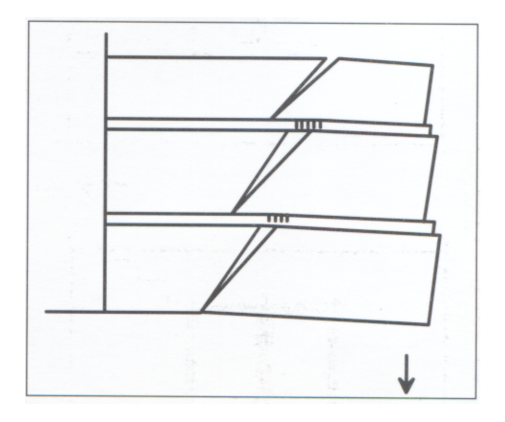


Figura 2.3. Afección del asiento en forjados.

También la existencia de aberturas en los paramentos afectados por el asentamiento modifica la forma y la situación de la lesión (ver figura 2.4).

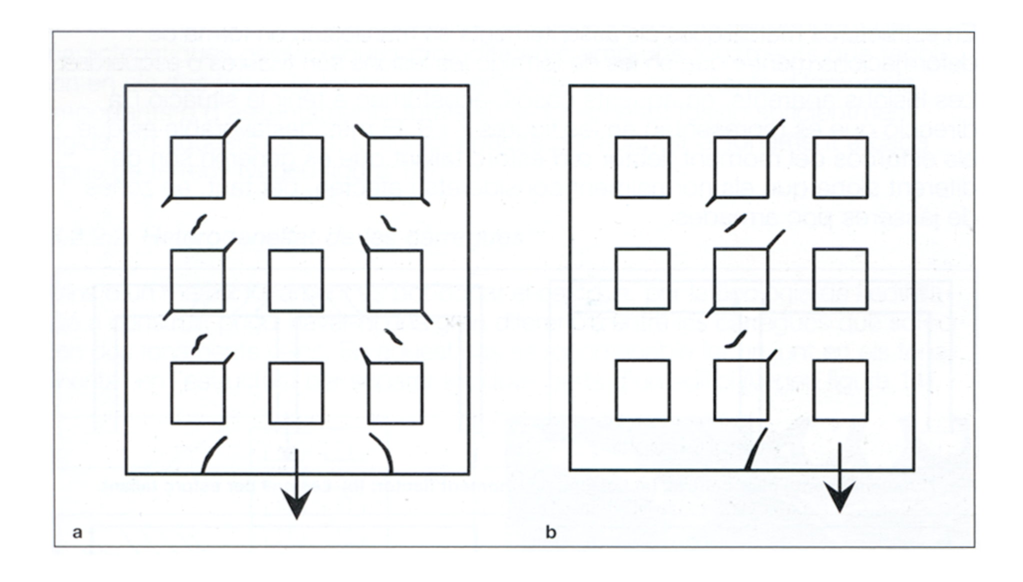


Figura 2.4. Afección de asentamientos en aperturas de fachada.

Asimismo, deficiencias constructivas locales, como juntas frías en la realización de la obra de fábrica, pueden distorsionar la imagen de la lesión [ver figura 2.5].

No se debe confundir los asentamientos con los desplazamientos, los primeros son deformaciones verticales, mientras que los segundos son horizontales [ver figura 2.5(b)]. Tampoco se puede descartar la posibilidad de que ambos movimientos se produzcan al mismo tiempo.

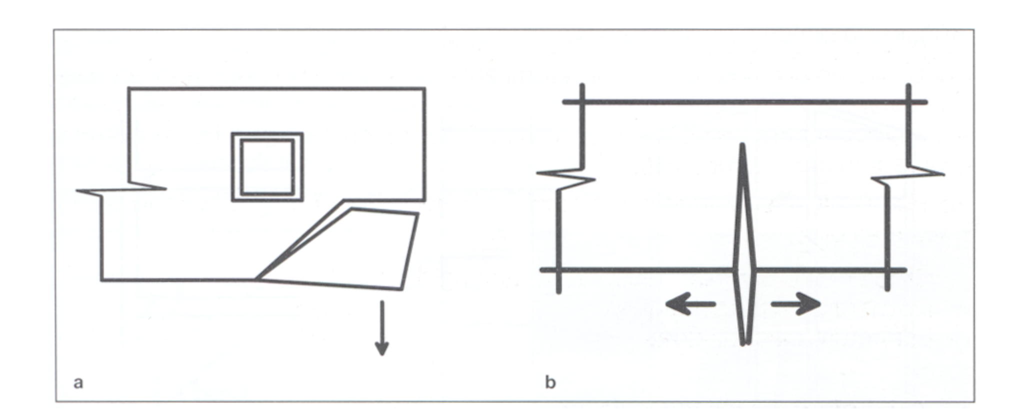


Figura 2.5. Lesiones por asiento en juntas frías.

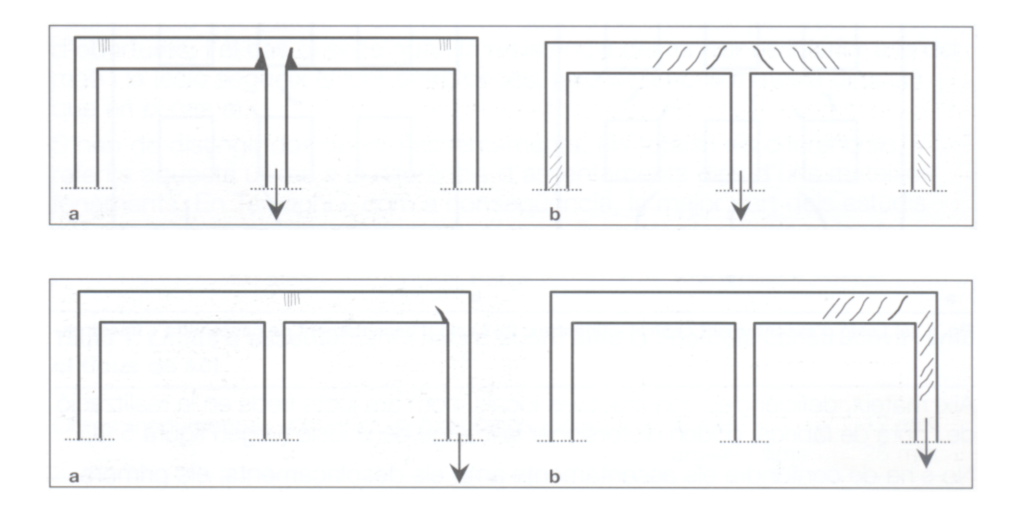
Los edificios suprarígidos pueden presentar, ante un asentamiento, un comportamiento solidario todo él. Ejemplos, los podemos encontrar en las estructuras en torre (la Torre de Pisa) y en los edificios antisísmicos.

2.1.1.4. Lesiones por asentamiento en edificios con estructura porticada

En cuanto a las estructuras porticadas de hormigón o de acero, los primeros elementos constructivos que suelen manifestar estos tipos de lesiones son los cierres (paredes, tabiques,...) debido a su rigidez y, aún más, cuando los cierres han construido atracados en la estructura.

En estructuras metálicas los asentamientos se manifiestan en forma de deformaciones mientras que en las de hormigón las lesiones son fisuras o grietas.

Las lesiones aparentes, en estos casos, suelen tener la situación y la dirección que se representan en las figuras 2.6 y 2.7 (a flector / b cortante). Lo más desfavorable es que los esfuerzos del momento flector o de esfuerzo cortante que se generan son de distinto signo que los normalmente considerados y afectan, por tanto, en zonas de jácenas poco armadas.



Figuras 2.6. y 2.7. Lesiones en forjados.

En este tipo estructural, en caso de producirse a la vez un asiento y un desplazamiento de esquina.

2.1.2. Origen y causas genéricas de las lesiones en los edificios debido a los cimientos

1. Heterogeneidad del suelo
2. Heterogeneidad de las cargas
3. Heterogeneidad de cimientos
4. Presencia de espacios vacíos, como pueden ser cuevas, túneles, pozos, etc.
5. Erosión por el agua en terrenos de yeso
6. Movimiento en la cabeza de terrenos en pendiente
7. Presencia y variación de nivel freático
8. Expansividad de las arcillas
9. Agresividad química del agua o del suelo
10. Excavaciones vecinas
11. Errores de proyecto en la concepción, el cálculo y/o el dimensionado
12. Errores en la ejecución
13. Degradación de materiales

2.2. Los sistemas de contención

Los sistemas de contención se dividen en dos grandes grupos, los muros y las pantallas. Su funcionamiento se basa en la absorción o la transmisión de los empujes producidos por el terreno, al ser éste, cortado verticalmente.

La distinción entre muro y pantalla reside en la profundidad de excavación necesaria en la edificación, mientras que el primero funciona por uno o dos sótanos, la

pantalla es la solución más adecuada para excavaciones más profundas. También se distinguen por la forma de controlar los empujes activos del terreno, mientras que el muro actúa principalmente por peso y forma, la pantalla lo hace a través de los empujones pasivos del terreno.

Tres son las exigencias de seguridad que desde el punto de vista de resistencia y de estabilidad deben cumplir los sistemas de contención: seguridad al vuelco, seguridad al deslizamiento y que las tensiones transmitidas al terreno sean iguales o inferiores a las admisibles; además, habría que añadir que la deformación en la cabeza del sistema de contención fuera admisible para los edificios vecinos.

2.2.1. Sintomatología. Lesiones en los edificios

Las lesiones aparentes más comunes en los edificios, debidas a los sistemas de contención, se pueden sintetizar en:

- Desplomes
- Fisuras o grietas
- Degradaciones los materiales del sistema de contención por ataque del medio
- Colapsos parciales o totales

Los sistemas de contención, al ser elementos estructurales trabajando a flexión, pueden verse afectados por deformaciones, sobre todo en el coronamiento. Lógicamente, estas deformaciones pueden influir en los edificios vecinos produciendo grietas o inclinaciones.

El gran volumen de hormigón necesario para su construcción conlleva la posible aparición de las lesiones típicas de tratamiento de grandes masas de este material, como las deformaciones hidráulicas o las térmicas, que producen retracciones o dilataciones no controladas.

Al igual que los fundamentos, los sistemas de contención están ubicados dentro de los terrenos y, por tanto, sometidos al posible ataque agresivo del medio. Este subsistema constructivo, junto con los techos, es el que sufre más colapsos en la edificación (empujones activos del terreno superiores a los previstos, empujones de agua, empujones de cimientos vecinos, falta de apuntalamientos durante la ejecución, defectos constructivos, ...).

2.2.2. Origen y causas genéricas de las lesiones en los edificios debido a la contención

1. Errores en la cuantificación de los empujes activas del terreno. el vuelco
2. Falta de sistemas de drenaje con presencia de nivel freático
3. Deslizamientos del pie de muros

4. Desorganización de las juntas
5. Empujones del agua (depósitos, piscinas)
6. Deslizamientos / desprendimientos
7. Errores en el proyecto
8. Errores en la ejecución
9. Degradación de los materiales

3 Cimientos. Metodología de diagnóstico y campaña de ensayos

3.1. *Introducción*

El análisis de las condiciones estáticas de un edificio de interés histórico y monumental sólo puede ser guiada de una manera coherente y correcta mediante un conocimiento profundo de las características físicas y mecánicas de los elementos estructurales, a los que se les ha destinado las funciones portantes del edificio. Esta estructura portante (pilastras, muros, arcos y bóvedas) está constituida por materiales y técnicas constructivas muy variables de un área geográfica a otra y sus características estructurales deben ser evaluadas caso por caso, mediante una campaña atenta de diagnosis.

El acercamiento metodológico adoptado normalmente para el análisis de las condiciones estáticas de una estructura de paredes de carga existente prevé una primera serie de estudios preliminares que comprenden; el levantamiento geométrico y fotogramétrico, el levantamiento detallado del cuadro de fisuras y de lesiones que la estructura ha sufrido durante el paso de los años y el análisis de la historia de la construcción y del uso del edificio. A esta primera fase de estudios, que ya permite reconocer los principales problemas estructurales, le sigue una serie de estudios especializados que tienen el objetivo de determinar los parámetros para definir el comportamiento estático del edificio.

Muy a menudo el diagnóstico se realiza sólo con técnicas de prueba de tipo no destructivo, de ejecución simple y rápida. Cabe destacar que el solo uso de este tipo de pruebas no es suficiente para resolver las problemáticas estructurales satisfactoriamente. Los resultados que se obtienen con este tipo de pruebas, en general, son de tipo cualitativo y proporcionan sólo una evaluación preliminar de las características mecánicas de los materiales mediante la definición de índice de calidad.

A pesar de que estas pruebas no pueden proponer ni determinar evaluaciones cuantitativas de los parámetros mecánicos, su uso es muy interesante ya que permiten adquirir una información imprescindible de las características de homogeneidad de la obra y de la posible presencia de lesiones en la estructura. Los únicos medios fiables para determinar los parámetros que condicionan el comportamiento estático de una estructura son los que recurren a técnicas de ensayo ligeramente destructivo, que requieren intervenciones modestas sobre la estructura. Es necesario que estos tipos de intervenciones (toma de muestras cilíndricas, cortes) tengan unas medidas que no perturben el comportamiento estructural y sean realizadas

de modo que al final de los estudios no queden signos de los trabajos sobre la superficie muraria. La leve alteración de la estructura sólo se admitirá durante un periodo temporal.

A menudo, los estudios diagnósticos van acompañados de la instalación de instrumentos de medida para el control del comportamiento de las deformaciones de la estructura en función del tiempo. Esta monitorización estructural, además de garantizar la seguridad de la estructura durante las diferentes fases de la consolidación, puede ser considerada un medio de investigación muy apropiado para evaluar las condiciones estáticas del edificio.

3.2. *Estudios previos*

Antes de proceder a la determinación de los parámetros mecánicos de una estructura de paredes de carga se hace necesario un conocimiento profundo de las características geométricas y arquitectónicas del edificio. En primer lugar hay que preparar un levantamiento geométrico cuidadoso que puede ser realizado mediante técnicas tradicionales o bien con técnicas fotogramétricas. Este levantamiento permitirá identificar las posibles irregularidades (desplomes, etc.), provocadas sea por el diseño original que el proyectista ha querido introducir para obtener efectos arquitectónicos, sea por la mala ejecución durante la fase constructiva.

Es particularmente importante el levantamiento del cuadro de fisuras de la estructura. Un levantamiento detallado de la extensión y de la apertura de las lesiones existentes permite una primera evaluación de las condiciones estáticas de la estructura y el reconocimiento de las posibles causas de inestabilidad.

Como norma general el levantamiento geométrico se extiende a las estructuras de cimentación con la ayuda de la excavación de pequeños pozos de exploración o mediante sondeos de perforación continua.

Por último, tampoco puede ser olvidada la adquisición de informaciones de carácter histórico. Es importante conocer las fases de construcción de la obra, las técnicas constructivas que se adoptaron, los materiales utilizados y las intervenciones realizadas en la estructura durante su vida. Las informaciones sobre las fases de construcción y de utilización del edificio pueden ser determinantes para el análisis del comportamiento estático y para la definición de estudios posteriores.

3.3. *Pruebas no destructivas*

3.3.1. Medidas sónicas

Entre todas las pruebas de tipo no destructivo las medidas sónicas, sin duda, son las que se utilizan más a menudo. La técnica de prueba está basada en la generación de impulsos sónicos o ultrasonidos en un punto de la estructura mediante un

sistema de percusión o un transductor electrodinámico, conectado a su vez a un aparato receptor.

Los datos se elaboran a partir de la medida del tiempo que el imputado les tarde para atravesar la sección de material existente entre el generador y el receptor, y en el análisis de la señal de onda. Los ultrasonidos son utilizados preferentemente para el estudio de las estructuras continuas, utilizando una metodología de reconocimiento muy estudiada en cuanto a las estructuras de hormigón. Para el estudio de las paredes de carga, que son típicamente heterogéneas, en vez de los ultrasonidos es necesario utilizar impulsos sónicos, así se suelen usar técnicas del mismo tipo que se utilizan en terrenos y macizos rocosos. Las pruebas sónicas se pueden realizar mediante la aplicación de una masa que golpee sobre una superficie y la colocación del receptor de la señal sobre la superficie opuesta, o también sobre la misma superficie. Si se posicionan los sensores a diferentes alturas del macizo de pared es posible (en recurrir al principio de la reflexión de las ondas sobre la superficie de contacto) estimar la profundidad de los cimientos. Si la estructura que se examina hay agujeros de sondeos, es posible realizar una prueba de down-hole (que inspecciona el macizo de pared a lo largo de un simple agujero) o cross-hole (que analiza el macizo de pared comprendido entre dos agujeros contiguos).

3.3.2. Tomografía sónica

De un interés mayor para el estudio de las Características estructurales generales de los edificios de paredes es la tomografía sónica. Esta es una técnica que proporciona un levantamiento detallado de la distribución de la velocidad sónica en una sección plana de la estructura que se estudia. El método se basa en la lectura del tiempo empleado por los impulsos sónicos para atravesar la sección en varias direcciones. La sección del macizo es esquematizada según una red de malla rectangular y los datos se elaboran con la hipótesis de que, en un campo de velocidad dad no uniforme, los impulsos sónicos no se propagan en línea recta sino siguiendo una línea curva debido al fenómeno de refracción. La tomografía sónica, ampliamente experimentada en el campo de las grandes estructuras de hormigón, también proporciona resultados muy interesantes en las aplicaciones a las estructuras de paredes. Esta técnica ha sido utilizada con éxito para el estudio de las características estructurales de los pilares de la Basifica di S. Marco.

3.3.3. Investigación con radar, geo-radar (GPR)

Otra técnica importante de ensayo no destructivo para el estudio de las características estructurales de las paredes se basa en la utilización del radar. Esta técnica utiliza ondas electromagnéticas de alta frecuencia emitidas mediante una antena con impulsos de breve duración. Las ondas vienen reflejadas de la superficie de contacto entre materiales de diferentes constantes dieléctricas y pueden ser recibidas por medio de una antena y transformadas en señales eléctricas.

Con esta técnica es posible determinar la posición de las superficies de separación de materiales con constantes dieléctricas diferentes y, por tanto, individualizar la presencia de humedad, de cavidades, de estructuras metálicas, de tuberías y de chimeneas. Esta técnica también es utilizada para determinar la profundidad del plano de cimentación del edificio.

Dependiendo del tipo de problema a resolver, es decir de la auscultación hasta la profundidad deseada (por ejemplo 25 cm, 50 cm, 1 m, 5 m, 10 m, 30 m,...), debe utilizarse una o varias antenas de emisión y recepción. Estas antenas tienen frecuencias de emisión generalmente de 1 GHz, 900 MHz, 500 MHz, 400 MHz, 200 MHz y 100 MHz.

3.3.4. Análisis termográfico

El análisis termográfico analiza la radiación emitida durante una transferencia térmica causada por fenómenos naturales o también inducida a la estructura por un recalentamiento forzado. La radiación térmica es recogida por aparatos sensibles a los rayos infrarrojos y es transformada en señales eléctricas, que a su vez serán convertidos en imágenes con diferentes tonalidades de color.

La termovisión es utilizada para identificar la presencia de anomalías constructivas en los elementos estructurales cubiertos con un rebozado.

Se ha demostrado que es particularmente interesante para estudiar paredes que soportan pinturas al fresco, donde no es posible extraer muestras o utilizar técnicas de prueba que prevean el contacto con la superficie de la pared.

Se ha utilizado muy a menudo para el levantamiento de cavidades, chimeneas, tuberías de la red de agua y de calefacción y presencia de humedad. Cabe mencionar que la profundidad de penetración de esta técnica es sólo de pocos centímetros y no permite la detección de anomalías localizadas en la parte central de la pared.

3.4. *Caracterización mecánica de la estructura de paredes y de sus cimientos (microgravimetrías)*

Las técnicas de ensayo no destructivo que se han descrito en los párrafos anteriores no son suficientes para determinar los parámetros necesarios de evaluación de las condiciones estáticas de una estructura y para permitir el proyecto de las intervenciones de consolidación. Una evaluación de estos parámetros sólo es posible mediante la utilización de pruebas mecánicas especiales de tipo ligeramente destructivo ya que requieren alguna intervención sobre la estructura. Las pruebas deben ser de ejecución simple y rápida para reducir al máximo el coste del ensayo y permitir una rápida restitución de las condiciones originales de la pared.

3.4.1. Perforación mecánica y reconocimiento con sonda de televisión (boroscopio)

Para conocer las características estructurales de los distintos tipos de paredes de un edificio es necesario ejecutar una perforación mecánica de diámetro pequeño y recoger muestras en los puntos más representativos de la estructura tura portante.

Esta operación es indispensable, en el caso muy frecuente, de que el espesor de la pared sea compuesto por dos paramentos externos regulares y un relleno interno.

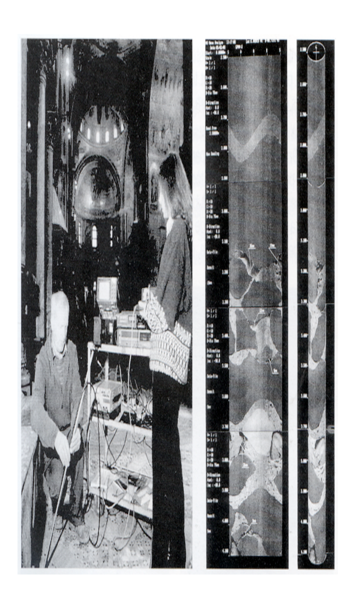


Figura 3.1. Estratigrafía de un cilindro de perforación.

La perforación hay que hacerla por rotación con corona diamantada de diámetro inferior a 60 mm. Si se utilizan unas herramientas de perforaciones ligeras y manejables, la perforación se puede hacer incluso a zonas difícilmente accesibles (ver figura 3.6).

La operación de perforación consiste en extraer muestras de material sobre las que se realizarán las pruebas de laboratorio que sean necesarias; este aspecto es particularmente importante cuando se quieren identificar las características fisico-químicas y mecánicas de los materiales.

Con la ayuda de la perforación mecánica también es posible hacer un detallado levantamiento geométrico y estructural del macizo de cimentación del edificio.

En la figura 15 es visible el esquema estructural de la obra de cimentación de las paredes perimetrales de la Basílica di S. Marco en Venecia, levantado con la ayuda de perforación mecánica.

Las informaciones que se obtienen tienen mediante la perforación mecánica normalmente son integradas con la realización de una observación con sonda de televisión a color que permite inspeccionar con gran detalle toda la superficie lateral del agujero. De esta manera se puede adquirir información muy detallada sobre las características de la pared, localizar y dimensionar las cavidades y analizar la propagación de las principales lesiones dentro del espesor de pared.

Las tomas pueden ser grabadas para poder hacer posteriores análisis después de haber tapado el agujero.

3.4.2. Técnica dilatométrica de perforación; gatos planos o flat jack

Después de haber analizado las características estructurales del aparato de la pared es indispensable determinar los parámetros que gobiernan su comportamiento mecánico. Las pruebas mecánicas de laboratorio hechas con probetas extraídas por perforación mecánica pueden proporcionar únicamente información sobre las características de los materiales que componen la estructura, pero no permiten dar los parámetros de deformabilidad y de resistencia de la pared en su complejidad. El problema de la caracterización mecánica de las paredes ha sido trabajado mediante la puesta a punto de una interesante técnica de ensayo basada en la utilización de gatos planos especiales.

La primera aplicación de esta técnica fue propuesta por Pier Paolo Rossi en el año 1979, con ocasión de una campaña de ensayos en el Palazzo della ragione en Milán.

De aquella primera experiencia, la técnica se ha ido desarrollando y mejorando y hoy puede ser considerada sin dudas como el medio de reconocimiento más fiable para análisis cuantitativos de las características mecánicas de cualquier tipo de pared de ladrillo o piedra, aunque sea irregular.

Con la ayuda de esta técnica de ensayo es posible adquirir una información inestimable sobre el comportamiento estático de una pared, mediante el análisis de los siguientes parámetros:

- Medida del estado de solicitaciones existente en la pared
- Determinación de las características de deformabilidad
- Evaluación de las características de resistencia a compresión

3.4.3. Análisis de las características de deformabilidad de paredes de tres hojas

En el párrafo anterior se ha indicado que la técnica de los gatos planos permitía determinar las características de deformabilidad y el estado de solicitaciones con correspondencia de los parámetros externos de la estructura. Desgraciadamente esta técnica no puede dar ninguna información sobre las características mecánicas

de la parte interna comprendida entre las dos hojas exteriores de una pared de tres hojas.

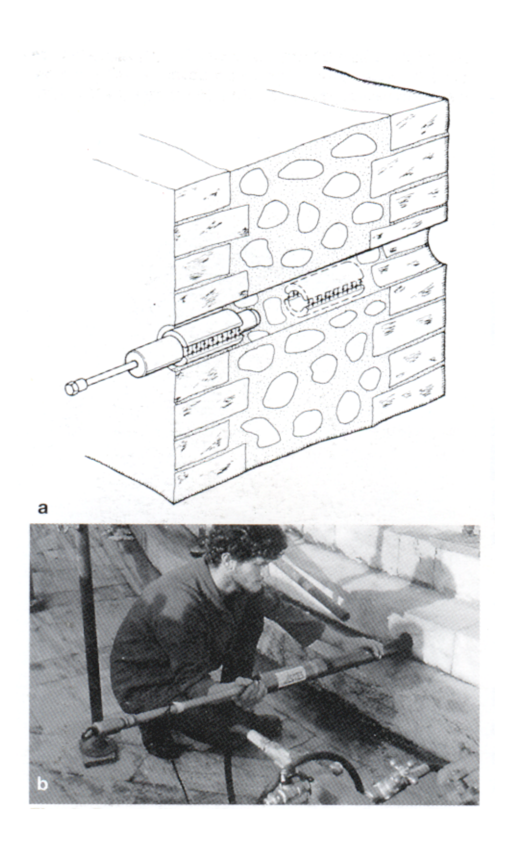


Figura 3.2. Método para analizar la deformabilidad en paredes.

Para resolver este difícil problema se propone utilizar una técnica diferente que consiste en analizar separadamente las características de deformabilidad de la parte interna del espesor de pared. Una reciente serie de experimentaciones han permitido poner a punto una técnica de ensayo interesante, aplicable dentro de perforaciones en la pared de unos 75 mm de diámetro. Se trata de la prueba dilatométrica esquematizada en la figura 3.9.

Una sonda especial dilatométrica de 20 cm de longitud, provista del aparato que aplica la solicitud de licitación sobre las paredes del agujero y de la instrumentación para medir las deformaciones, se inserta en el interior del agujero para hacer la prueba de carga sobre los diversos materiales que componen la pared. De esta manera, es posible determinar la relación entre el módulo de elasticidad de las hojas exteriores y el del núcleo. Aunque la prueba dilatométrico es menos fiable que el ensayo de gatos planos (debido a las dimensiones limitadas de la parte ensayada), el método que proponemos se presenta muy interesante porque permite comparar los módulos de elasticidad exterior e interiores. El valor absoluto del módulo de elasticidad será evaluado haciendo referencia a los resultados del ensayo de gatos planos sobre las hojas exteriores.

3.5. *Aplicación de modelos físicos*

Después de Galileo, los modelos estructurales «científicos» por excelencia han sido los matemáticos. Pero actualmente, gracias a la teoría matemática de las semejanzas, los modelos físicos (las maquetas a escala) han vuelto a tener un uso importante y se han convertido, finalmente, «científicos».

Los modelos estructurales modernos son un instrumento potentísimo para la evaluación de la resistencia de la estructura, sobre todo en cuanto a la descripción de su comportamiento frente a la carga de viento, a la acción de una carga accidental o al seísmo.

En un modelo físico es necesario modelar fuerzas solicitaciones, módulos de elasticidad, apoyos, etc., Por lo tanto, habrá una escala de fuerzas, una escala de solicitaciones, etc. (ver figura; ensayo físico en laboratorio sobre un modelo a escala de un pilar para verificar la técnica de restauración propuesta).

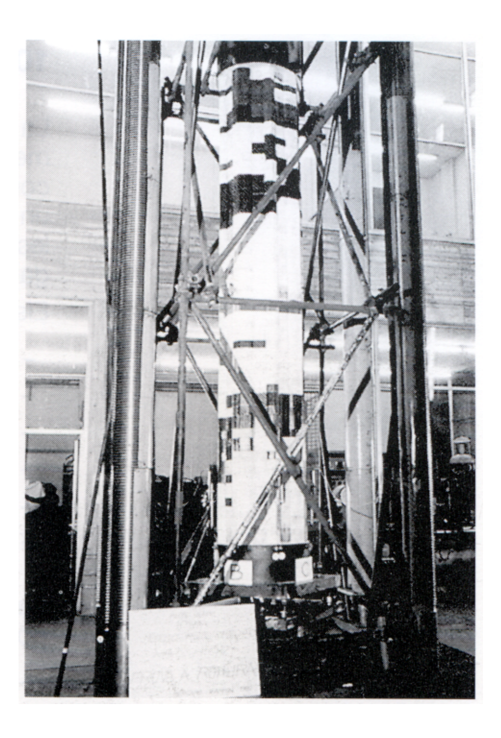


Figura 3.3. Ensayo de un modelo físico en laboratorio.

3.6. *Aplicación de modelos numéricos*

Una contribución significativa al análisis de las condiciones estáticas de una estructura nos la proporcionan los modelos numéricos, los cuales utilizan los datos obtenidos en los ensayos in situ, en el laboratorio y en la instrumentación de control. Los datos de entrada para el modelo matemático provienen de las pruebas de

deformabilidad in situ con gatos planos. La validación del modelo se realiza mediante la comparación entre las solicitaciones calculadas sobre el modelo y aquellas que se midan in situ con el ensayo de gatos planos. Con el modelo se pueden analizar diversas condiciones de carga (peso propio, carga térmica y asentamientos diferenciales de los fundamentos) y el comportamiento de las deformaciones que permiten comprender mejor los resultados proporcionados por el sistema de monitorización.

3.7. *Análisis del comportamiento dinámico*

Las pruebas in situ que utilizan métodos dinámicos pueden ser consideradas pruebas de tipo no destructivo que permiten verificar el comportamiento estructural y la integridad del edificio. Las pruebas dinámicas pueden realizarse de acuerdo con los siguientes procedimientos:

- Mediante el análisis de los datos obtenidos de la respuesta a cargas dinámicas naturales o pseudo-naturales a que está expuesta habitualmente la estructura (tráfico urbano o ferroviario, acción del viento, campanas que suenan. Etc.). Los parámetros dinámicos son determinados mediante la técnica de análisis espectral.
- Someter la construcción en pruebas de vibraciones de baja intensidad (tales que produzcan niveles vibracionales que no alteren la integridad estructural) a la vez que se registran las respuestas del sistema en términos de traslación, velocidad y aceleración. Las vibraciones forzadas son inducidas por la «vibrodina» y la respuesta es medida por sensores sismométricos.

Este ensayo permite identificar el comportamiento dinámico de la estructura por medio de la evaluación de sus parámetros modales (frecuencia natural, formas modales, índice de amortiguación). El conocimiento de estos tres parámetros permite calcular la respuesta estructural a cualquier tipo de carga dinámica y, en particular, permite evaluar la vulnerabilidad sísmica de la estructura.

Si se repiten las pruebas de vibraciones forzadas después de un intervalo de tiempo es posible evaluar las eventuales variaciones de los parámetros modales.

Estas variaciones pueden ser asociadas a modificaciones de la integridad estructural. Las informaciones que se pueden recoger no sólo cuantifican la degradación estructural del edificio, sino que también permiten planificar las intervenciones de consolidación.

La técnica de las vibraciones forzadas, mediante la utilización de la «vibrodina», ha sido recientemente desarrollada para analizar las condiciones estructurales de las torres de la ciudad de Pavia. Los resultados obtenidos han permitido individuar anomalías en el comportamiento estructural de algunas de las torres estudiadas.

3.8. *Monitorización estructural*

La instalación de una instrumentación de medida para el control del comportamiento estructural de un edificio asume una importancia clave en el estado y las condiciones estáticas de la estructura. Esta técnica de reconocimiento tiene un campo de aplicación amplio, ya que además de proporcionar informaciones sobre las condiciones estáticas del edificio, es considerada el único medio que permite garantizar la seguridad de la estructura durante los trabajos de consolidación.

Los principales parámetros que se tienen bajo control suelen ser:

- Apertura de las principales lesiones de la estructura
- Movimientos absolutos y relativos de la estructura vertical
- Rotación de estructuras verticales u horizontales
- Temperatura interna y externa
- Asentamientos diferenciales de los cimientos
- Comportamiento de las deformaciones del terreno de cimentación

Según las condiciones de cada caso, el diseño del sistema de monitorización puede estar basado en dos métodos diferentes:

- Uso de sensores eléctricos y adquisición continua de datos con sistema de grabación
- Uso de instrumentos desmontables y lecturas manuales tomadas a intervalos fijos de tiempo.

El primer método es ciertamente más interesante y atractivo, ya que permite la monitorización en tiempo real del comportamiento de la estructura sin la ayuda de operarios técnicos y facilita la transferencia de datos a larga distancia. Por el contrario, el método manual de lectura requiere una presencia periódica de operarios

técnicos en el edificio y no es capaz de una monitorización continua en tiempo real del comportamiento estructural. Sin embargo, el método manual no debe ser rechazado, ya que suministra información, de forma más rentable, en aquellos casos donde las condiciones ambientales son tan difíciles que resulta imposible garantizar la protección de los sensores y la obtención automática de datos.

En cuanto al diseño de un sistema automático de monitorización hay que tener en cuenta los aspectos:

- *Condiciones ambientales*. La elección de un sistema de medida y la localización del recorrido del cableado debe ser decidida después de un análisis detallado de las condiciones ambientales. Hay que garantizar una protección razonable del sistema, el suministro de energía estable y continuo, la prevención del ruido eléctrico y la accesibilidad durante los trabajos de instalación y montaje,

- *Precisión*, La precisión del sistema puede ser definida analizando todos los tipos de errores (sistemáticos o fortuitos) que pueden afectar a los instrumentos, en los sistemas monitorizados es importante poner atención no sólo en la precisión de los componentes individuales (como instrumentos, data logger (recopilador/tabla de datos)y ordenadores) sino también en la precisión de todo el sistema.
- *Fiabilidad*. Un sistema de monitorización se utiliza generalmente para una observación a largo plazo del comportamiento de la estructura, por lo tanto, es necesario asegurar una fiabilidad suficiente a largo plazo. Por esta razón, es necesario dedicar una atención especial a asegurar la fiabilidad a largo plazo en cada fase: diseño, instalación y lecturas. Por otra parte, el concepto de redundancia en el diseño del sistema se considera muy efectivo para asegurar una alta fiabilidad. El sistema debe permitir inspecciones periódicas de diagnosis y auto-diagnosis para detectar los malos funcionamientos por desconexiones internas, contactos defectuosos y otros accidentes, algunos defectos del sistema automatizado de monitoreo pueden ser detectados al comparar los valores obtenidos con los valores esperados, y también al comparar la tendencia de los valores obtenidos con los valores estándar de control.
- *Flexibilidad*. Es conveniente una gran flexibilidad, ya que se espera que el sistema de medida opere a largo plazo y puede ser necesario realizar cambios o sustitución de componentes durante la vida útil. Algunos instrumentos pueden llegar a no ser necesarios a medida que avanzan las medidas y, en cambio, puede ser imprescindible incorporar otros nuevos, puede hacer falta recalibrar y mantener en perfecto estado de uso todos los instrumentos y, si hiciera falta, recambiar los mismos. Por estas razones, es aconsejable diseñar la toma de datos y el sistema de análisis como funciones que permitan ajustar las constantes de calibración y los valores iniciales, el número de puntos de medida y la frecuencia de lecturas.
- *Mantenimiento*. La inspección periódica de los componentes del sistema para revisar el funcionamiento del conjunto y para comprobar la posible desviación de los valores de medida respecto de la tendencia histórica y los valores esperados debe ser realizada con rapidez, con el objeto y uno de garantizar la veracidad del sistema a largo plazo. En algunos casos pueden ser necesarias inspecciones de urgencia.

Con el objetivo de analizar el comportamiento t estático de una estructura deben medirse los fenómenos que se describen a continuación. Cada medida puede ser tomada mediante instrumentos permanentes, con conectados a un sistema de toma de datos automático, o instrumentos portátiles, únicamente de lectura manual.

3.8.1. Movimientos de las grietas

Hay que llevar a cabo un examen detallado del cuadro fisurados para detectar y controlar las grietas más importantes que pueden afectar al comportamiento de la

estructura. Sin duda, medir los movimientos relativos de las grietas (aberturas y desplazamientos) es el método más sencillo y frecuente que se emplea.

La técnica más sencilla se basa en utilizar una galga extensométrica que toma la medida sobre dos pequeñas plaquetas metálicas encoladas a ambos lados de la grieta. Los desplazamientos también pueden medirse con tres de estas plaquetas situadas formando un triángulo. Cuando se requiere de un sistema automático, se suele recurrir a una galga extensométrica eléctrica fija.

Estos instrumentos se conectan a la pared mediante dispositivos esféricos especiales que eliminan efectos de distorsión en los sensores. La figura 3.12 muestra dos maneras posibles de medir los movimientos de una grieta utilizando una galga extensométrica eléctrica fija para lecturas automáticas y una de portátil para lecturas manuales.

3.8.2. Movimientos relativos de la estructura vertical

Los extensómetros de hilo se utilizan para medir el movimiento horizontal relativo de estructuras verticales (paredes y pilares). El instrumento está equipado con un alambre invar que se mantiene en tensión gracias a un peso muerto y con un transductor eléctrico conectado al sistema de adquisición de datos. Estos instrumentos son muy fiables y su instalación es muy fácil gracias a su gran flexibilidad.

Este tipo de instrumento también ha sido instalado en la Torre de Pisa para medir las deformaciones de la estructura cilíndrica en dirección radial y longitudinal.

3.8.3. Movimientos absolutos horizontales

Los movimientos horizontales absolutos de las estructuras verticales se miden por medio de un péndulo directo. Se prepara un pequeño voladizo en la parte superior de la estructura para colgar el cable del péndulo, mientras que en la parte inferior se instala la unidad de lectura, equipada con un tele-coordinómetro, que mide los dos componentes de desplazamiento del cable. Cuando no se puede instalar un péndulo directamente, se puede utilizar un péndulo sencillo y fiable con una unidad de lectura de medida óptica que se coloca sobre una placa de acero fija sólo durante la lectura, y luego se retira.

A menudo, la pendiente o directo se utiliza como combinación con un extensómetro de hilo, especialmente en el caso de la monitorización de torres y campanarios. La figura siguiente muestra, como ejemplo, un método lógico de instalación utilizado para la monitorización de estructuras de gran altura con el uso de un péndulo directo y la medida de la deformación transversal en diferentes secciones con la ayuda de extensómetros de hilo. Varias galgas extensométricas son instaladas en las grietas principales así como también sondas de temperatura.

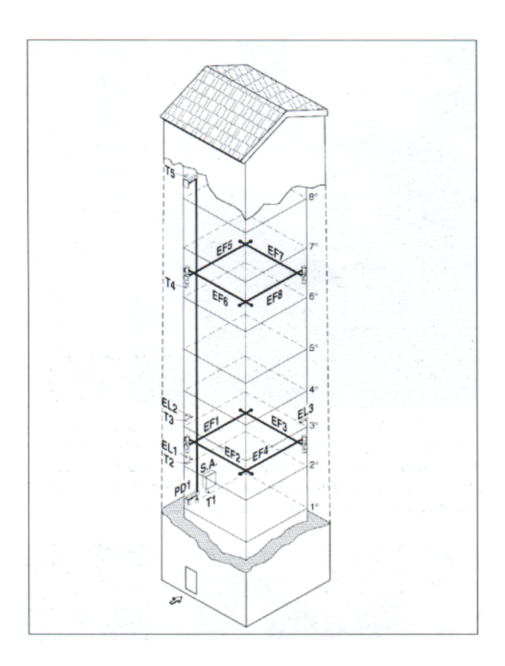


Figura 3.4. Análisis gráfico de movimientos absolutos.

3.8.4. Asentamientos diferenciales

Los asentamientos diferenciales de los cimientos se miden utilizando recipientes nivelométricos, que contienen líquido y se comunican entre sí. Dentro de cada recipiente, un sensor eléctrico mide el nivel de líquido.

Cuando la estructura es afectada por asentamientos diferenciales, también es necesario instalar un sistema de monitorización qeotécnica, que incluya galgas para medir asentamientos y piezómetros que permitan analizar la deformación de las diferentes capas del suelo de cimentación en relación a las variaciones del nivel freático.

3.8.5. Inclinaciones de la estructura

Para medir la inclinación de planos verticales u horizontales se utilizan inclinómetros fijos o desmontables. Esta técnica proporciona una medida local que en algunos casos puede verse afectada por anomalías locales en el comportamiento de la obra. Por esta razón las medidas de inclinaciones son menos interesantes que las mencionadas medidas de movimientos globales absolutos o relativos.

3.8.6. Condiciones ambientales

La deformación de la estructura debe ser correlacionada con las condiciones ambientales principales: temperatura, niveles de radiación y dirección y velocidad del

viento. Sin duda, la medida de la temperatura es la más importante, por sus efectos en el comportamiento de deformación de la estructura. En este sentido hay que medir la temperatura del aire y el gradiente térmico en el grosor del muro.

Esta última medida se puede hacer mediante sondas térmicas dentro de agujeros de pequeño diámetro hechos al espesor de la pared.

3.8.7. Adquisición y post-proceso de datos

Los instrumentos instalados en diferentes puntos de la estructura están conectados, en primer lugar, a unidades periféricas que transforman las señales analógicas en información digital que a partir de este lugar es procesada por el ordenador de adquisición de datos. Con el objetivo de reducir considerablemente la longitud de cables de cada instrumento, se recomienda que las unidades periféricas sean conectadas al ordenador con las siguientes funciones:

- Obtención periódica de datos a intervalos fijos
- Obtención especial a petición del técnico
- Grabación de datos
- Elaboración de datos y comprobación de anomalías o cuando se hayan excedido los niveles de riesgo
- Representación gráfica de los datos en el formato elegido

Los datos pueden ser transferidos a larga distancia mediante la utilización de módems y líneas telefónicas.

La figura 3.5 muestra de forma esquemática el sistema de monitorización instalado en la Catedral de Noto (Siracusa). Los instrumentos instalados en las estructuras portantes que quedaron en pie tras el colapso ocurrido en marzo de 1996 están conectados a tres unidades periféricas que adquieren datos de tres zonas diferentes de la Catedral. A su vez, las tres unidades periféricas están conectadas a una unidad central instalada en el campanario. Las conexiones de línea telefónica y módem permiten transferir los datos a los laboratorios en Bergamo y la Oficina de la Soprintendenza en Siracusa.

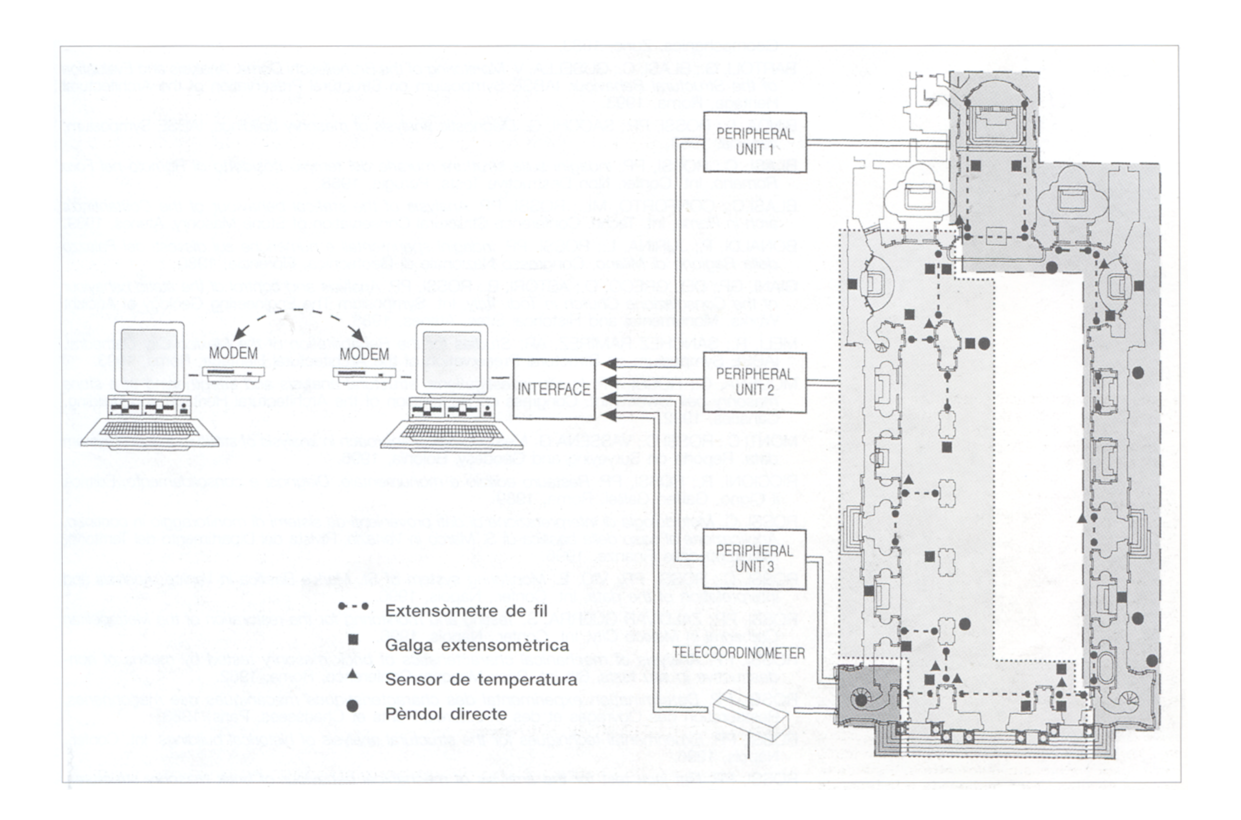


Figura 3.5. Sistema de monitorización controlado por ordenador.

3.8.8. Conclusiones

El diseño de sistemas de monitorización de estructuras existentes de significado monumental o social depende, en primer lugar, de los objetivos del sistema. Hay que saber si se necesita la medida para una mejor comprensión del actual comportamiento de la estructura del edificio, o para la ayuda directa y monitorización de los trabajos de reparación y restauración.

Una vez se han definido los objetivos del sistema de medida, pueden identificarse lógicamente los detalles relativos al tipo específico de instrumentación a utilizar, la naturaleza del sistema de toma de datos y el método de interpretación.

Hay que enfatizar especialmente la importancia de la flexibilidad del sistema inicial y la continuidad de su mantenimiento para poder comprender el comportamiento estructural a lo largo de todo el proceso.

La interpretación de las medidas obtenidas durante los trabajos de restauración deben ser estudiadas de manera rápida e inmediata para llevar a cabo las acciones o los procesos de corrección necesarias.

En contraposición, las medidas obtenidas durante una monitorización a largo plazo con objeto de comprender el comportamiento estructural de un edificio suelen ser más susceptibles a los efectos ambientales y estacionales. Así, los datos deben

ser filtrados y tratados estadísticamente para poder ser examinadas durante un plazo de tiempo lo suficientemente largo, generalmente años.

Sin duda, los esfuerzos racionales de conservación, particularmente en cuanto a monumentos históricos, pueden estar mucho mejor orientados con la ayuda de medidas específicas de monitorización, ya que se pueden establecer relaciones claras entre la estructura y sus problemas potenciales.

4. La intervención en la cimentación de un edificio existente

Tocar la cimentación de un edificio existente es siempre una labor delicada que debe ir respaldada por un estudio concienzudo de las causas que motivan esta intervención, la elección de la solución adoptada y la forma de ejecución.

Las causas que obligan a la intervención quedan incluidas en los tres grupos siguientes:

- Cimentación defectuosa.
- Alteración del suelo.
- Reformas o cambios de uso del edificio.

En los casos en que existen problemas en la cimentación o en el terreno de apoyo, son los más delicados ya que necesitan una confirmación sin lugar a dudas de las causas que originan la lesión, generalmente detectadas a través de la sintomatología que suele presentar el edificio, como grietas, fisuras, asientos, desplomes, etc.

La situación patológica de la cimentación suele ser detectada como consecuencia de dichos síntomas, que aparecen precisamente cuando el edificio ha tenido ya alteraciones en su estructura. Así, la intervención en la cimentación debe atajar las deformaciones del edificio impidiendo su avance. Si dichas deformaciones son pequeñas o al menos aceptables, la intervención se da por concluida, como suele ocurrir en la mayoría de los casos. Otro tema, de complicado estudio y ejecución, sería restituir al edificio a su posición primitiva, haciéndole recuperar los desplazamientos producidos, operación por la que se puede optar cuando los movimientos han sido excesivos y el edificio permite esta delicada y onerosa operación y también merece su conservación.

En cuanto a la elección de la solución que se adopte, está muy relacionada con la forma de ejecución. Hay una variada gama de soluciones teóricamente posibles para cada caso concreto y es por consiguiente difícil la decisión. La solución ideal será aquella que permita una ejecución sencilla, que garantice la seguridad del edificio, evitando asientos, y también la seguridad en la ejecución.

Una buena solución estructural, con un perfecto funcionamiento garantizado, pero de difícil o peligrosa ejecución, deberá ser reconsiderada y llevar a la búsqueda de

otra que permita una ejecución segura y sencilla. Sólo en el caso de no encontrarla estará justificada la rea1ización de la primitiva solución.

Por supuesto que, a pesar de las distintas opciones que nos ofrece la técnica, puede ocurrir que no exista una solución viable para resolver con garantía el problema de la cimentación, o también que sea económicamente inaceptable. En estos casos, lo más sensato será abandonar el empeño antes de fracasar en una intervención de éxito no garantizado.

4.1. *Refuerzos en cimentaciones superficiales*

Hay tres tipos o grupos de actuaciones según sea la constitución de la cimentación o la calidad del firme.

Tabla 4.1. *Cuadro de clasificación de soluciones*

Cimentación existente	**Profundidad del recalce**	**Tipo de recalce**	**Solución empleada**
Superficial	Superficial	Refuerzo	Inyección Inyección confinada entre tablestacas Inyección confinada entre muretes Introducción de armaduras
		Ampliación	En el contorno Por debajo Mejora del terreno
		Sustitución	Zapatas corridas Zapatas aisladas Puenteado
	Profundo	Por pozos	Por pozos
		Pilotes	Pilotes Micropilotes Pilotes especiales
		Construcción de sótanos	Bataches Pozos Muros descendentes Micropilotes
Profunda	Profundo	Pilotes	Pilotes

Tabla según: García López, Mariano. 2008.

4.1.1. Refuerzo mediante inyección

La inyección a presión de lechada o mortero de cemento puede ser una buena solución para mejorar cimentaciones de baja calidad. La inyección necesita espacios comunicados para poder progresar, por lo que sólo es posible en macizos de ci-

mentación, frecuentes en edificios antiguos, constituidos por mampostería en seco, gravas o incluso cascote, que como mucho puedan tener un aglomerante muy baja en dosificación y, en consecuencia, degradada.

La inyección tiene la ventaja de que la puesta en carga está asegurada en la misma operación. El mayor inconveniente estriba en la incertidumbre, al tratarse de una operación ciega, de que no haya sido correctamente inyectada toda la masa, por lo que habrá que llegar, en caso de duda, a la extracción de testigos convenientemente situados para la comprobación de este extremo. Esta técnica de refuerzo necesita, no sólo un cuidado o reconocimiento del cimiento, sino también del terrena que lo rodea, ya que si éste es permeable a la inyección, puede ésta perderse en zonas innecesarias y no producirse donde interesa.

4.1.2. Refuerzo mediante inyección confinada en barrera de tablestacas

En macizos de mayor envergadura y responsabilidad, normalmente en zapatas aisladas, es solución efectiva, aunque cara, la hinca de tablestacas que rodean el cimiento para evitar el escape lateral de la inyección, cuando el terreno es altamente permeable a la misma. De esta manera, con un control del volumen del fluido inyectado, quedará asegurado el refuerzo del macizo. Esta solución evita excavaciones y las tablestacas pueden ser recuperadas en la mayoría de los casos.

4.1.3. Refuerzo mediante inyección confinada entre muretes

También se puede atajar el escape lateral de la inyección mediante la construcción previa de muretes de fábrica de ladrillo o de hormigón. La solución es efectiva y necesita menos medios que la de tablestacas, pero tiene el inconveniente de la necesidad de excavar previamente los laterales del macizo para la construcción de los muros, operación que tiene el peligro de desmoronamiento del macizo degradado, con el peligro que este accidente conlleva (Fig.4.2). La figura muestra también la inyección del terreno por debajo del macizo, aplicable también a los casos anteriores, solución siempre conveniente, aunque no sea necesaria la ampliación del área de apoyo.

4.1.4. Refuerzo mediante la introducción de armaduras

Caso poco frecuente es el de la existencia de un hormigón de calidad suficiente en zapatas, pero con armado insuficiente por error de proyecto o de ejecución.

El refuerzo consiste en introducir armaduras adicionales taladrando el hormigón. Es operación delicada y engorrosa, pues los taladres deben tener gran precisión de ejecución. La armadura introducida deberá ser puesta en tensión y posteriormente inyectada.

Se trata realmente de un pretensado de la zapata (Fig.4.3). Esta solución es aplicable solamente cuando la anomalía ha sido detectada a tiempo, es decir, antes de la rotura de la zapata (sólo con pequeñas fisuras como máxima desperfecto podría llevarse a cabo la operación). Si la zapata presenta clara rotura, la solución no sirve y habrá que ir al recalce o sustitución del cimiento.

4.1.5. Ampliación de la cimentación actuando en el contorno

En la ampliación de cimentaciones, en las que se aumenta la superficie de las mismas actuando exclusivamente en el contorno, la nueva zapata va a tener el mismo canto que la existente. En este caso será necesario que dicho canto sea sobrado en la zapata antigua (supuesto por otro lado poco frecuente) para que la nueva disponga de un canto suficiente y proporcionado.

Es fundamental que el hormigón nuevo y el viejo queden totalmente adheridos para que formen un solo macizo. El hormigón nuevo tendrá una resistencia característica igual o ligeramente superior a la del existente; de nada sirve que sea muy superior. La unión de hormigones, para que el conjunto funcione como una sola pieza, se consigue con una cuidadosa preparación de la superficie de contacto, picando la zapata antigua y limpiándola debidamente, y también por disposición geométrica.

La adherencia puede obtenerse también, con gran garantía de efectividad, impregnando la superficie de contacto del hormigón viejo con una formulación de resinas epoxi antes del hormigonado. En las zapatas aisladas, la retracción del hormigón beneficia a la adherencia por el efecto de zunchado que proporciona el hormigón nuevo al fraguar. Esta no ocurre, sin embargo, en las zapatas corridas, por tratarse de dos añadidos aislados.

4.1.6. Ampliación de la cimentación actuando por debajo

Consiste en construir una zapata debajo de la existente con las dimensiones suficientes para la carga real actuante o que se prevé que va a actuar. Es una solución muy efectiva y no precisa adherencia entre hormigones ni engorrosos taladros. Sin embargo, la operación obliga a minar la zapata, por supuesto en fases sucesivas, por lo que es necesaria descargar mediante apeos la cimentación existente.

Su realización es más sencilla y segura en cimentaciones de muros (zapata corrida) que en cimentaciones de pilares (zapatas aisladas).

4.1.7. Ampliación de la cimentación mejorando el terreno

Este método consiste en convertir el terreno existente debajo del cimiento en un material más resistente y de mayor dimensión en planta, con lo que se consigue

interponer entre el cimiento y el terreno un elemento estructural que aguante la presión de la cimentación existente y la reparta en un área mayor.

Se trata pues de mejorar el terreno bajo el cimiento, lo que se puede conseguir actuando desde el exterior mediante la inyección a presión de fluidos que se esparcen por un determinado entorno y que posteriormente fraguan formando con el suelo un material más compacto y resistente. Para que la penetrabilidad de la inyección sea posible, es necesaria la presencia de huecos en el suelo, como ocurre en las gravas, arenas y zahorras.

El fluido más empleado en la inyección es la lechada de cemento con dosificación de cemento y presión de inyección variables según el tipo de trabajo y constitución del terreno.

En la figura 4.6 mostramos la solución ideal (difícil de conseguir) de mejora del terreno mediante la inyección de lechada de cemento, simétrica, proporcionando el ensanchamiento proyectado. Solución cara, pero a veces necesaria, es la inyección confinada, para asegurar, en terrenos pocos fiables en cuanto a su homogeneidad, el relleno con lechada del espacio previsto sin pérdidas.

4.1.8. Sustitución de zapatas corridas

En multitud de ocasiones no es viable el refuerzo o recalce de cimentaciones, por lo que será necesaria la construcción de una nueva que la sustituya. Conservando o no la cimentación existente y no contando nunca con su colaboración.

En el cimiento de muros la sustitución es relativamente sencilla, procediéndose por puntos, y no será necesaria la descarga total si el muro se halla en buenas condiciones y no tiene profusión de huecos. Así, en la figura 4.7 vemos solución en planta y sección de la forma de proceder, empezando por los medios puntos 1, 2, 3, etc., situados con una cierta separación y contrapeados, continuando con el cierre de los mismos y en el mismo orden (3, 4, 5, etc.) y terminando con la sustitución, que normalmente podrá hacerse de una vez, en los puntos intermedios 7, 8, etc.

4.1.9. Sustitución de zapatas aisladas

La cimentación de pilastras de fábrica (ladrillo, mampostería o bloques) que tienen un área de apoyo sobre el cimiento relativamente amplia, aunque se trata de zapatas aisladas, puede ser sustituida por puntos en la mayoría de los casos, con las ventajas que comporta el no tener totalmente suprimido el apoyo durante la operación. Así, en la figura 4.8 se representa una solución para este caso realizada en cuatro etapas. Se comienza por los puntos 1 y 2, dispuestos en dos esquinas diametralmente opuestas, y se termina con los dos restantes. La puesta en carga debe hacerse en los casos descritos, si ésta es necesaria, después de la construcción de cada punto, si se utiliza un mortero expansivo.

La sustitución de la cimentación de pilares de acero u hormigón deberá hacerse de una sola vez, dada la escasa sección del apoyo (en hormigón es la propia sección del pilar), y por consiguiente el apeo deberá ser total, incluido el peso propio del pilar desde su arranque.

El apeo supone la operación más delicada del trabajo, puesto que, una vez realizado a satisfacción, la sustitución es sencilla: demoler el viejo cimiento y construir el nuevo.

4.1.10. Sustitución mediante puenteado

Consiste en construir la nueva cimentación en los laterales o perímetro de la existente y dirigir las cargas de la pieza a la nueva cimentación mediante puentes de acero u hormigón armado, donde en ningún caso se tendrá en cuenta la colaboración del cimiento antiguo. Se trata de un procedimiento más caro que los anteriores, pues añade al material empleado unas fuertes piezas trabajando a flexión y cuya flecha de cálculo deberá ser muy estricta. Sin embargo es una solución más segura, puesto que la cimentación existente se mantiene durante la ejecución.

4.2. *Recalces profundos en cimentaciones superficiales*

Cuando el firme somero no satisface las necesidades de la cimentación, y la mejora del terreno mediante la inyección no es efectiva, se recurre a transferir las cargas a un estrato profundo más competente.

- Previsión de aumento de cargas en la cimentación par cambios de uso, aumento de plantas, supresión de pilares, etc., que ponen al límite de su capacidad al firme somero.
- Habilitación de sótanos, en el edificio en cuestión o en un predio colindante, que obligan necesariamente a la profundización de la cimentación.

4.2.1. Recalce profundo por pozos

Se comienza la excavación de los pozos convenientemente separados y contrapeados, que abarcan media cimentación y que deben irse entibando según se desciende en la excavación. Los pozos tendrán una anchura de 1,00 a 2,00 m, mínimo necesario para poder trabajar, y la entibación será cuajada o no según la calidad del terreno. Terminada la excavación, se construye la nueva cimentación y el muro de recalce, retirándose la entibación de abajo a arriba si la seguridad lo permite; en caso contrario, cuando exista grave peligro de desprendimiento, habrá que dejarla perdida.

La puesta en carga del recalce puede no ser necesaria, pero, para mayor seguridad, es apropiado el empleo de un mortero expansivo. En ambos casos, las últimas hiladas o el retacado deberán realizarse una vez transcurrido un tiempo prudencial para dejar fraguar y retraer a las fábricas construidas.

4.2.2. Recalce profundo mediante pilotes que rodean la cimentación

Será necesaria en grandes macizos para transferir cargas a firmes muy profundos, sobre todo cuando hay que atravesar estratos flojos y con presencia de agua. El pilote apisonado y también el excavado por caída libre no deben utilizarse en recalces; el más idóneo es el excavado con herramienta helicoidal, y, cuando el terreno no admita este sistema, habrá que buscar otra solución.

Los endentados tallados en la zapata y el efecto de zunchado del encepado de los pilotes aseguran la transferencia de cargas de la antigua cimentación a la nueva. Esta solución, válida también para zapatas corridas, necesita que los encepados estén atados mediante bulones o que exista una unión por debajo de la zapata.

4.2.3. Recalce profundo mediante micropilotes que atraviesan la cimentación

Pueden ser hormigonados por gravedad o a presión, con vaina recuperable o perdida, y su capacidad portante varía, según diámetro y tipo, entre las 10 y las 100 T.

La transmisión de cargas de la cimentación antigua a la nueva suele realizarse normalmente por adherencia. Solución muy práctica en edificación urbana, donde el espacio para trabajar es reducido y la altura libre muy estricta, ya que la excavación puede realizarse con energía hidráulica que no produce vibraciones y que permite la profundización necesaria empalmando vainas.

4.2.4. Recalce por bataches para habilitación de sótanos

Contemplamos aquí una intervención muy frecuente, como es el necesario recalzo o sujeción de la estructura de medianería de un edificio motivada por la construcción de sótanos en un inmueble de nueva planta colindante con el anterior. No sólo habrá que contener las tierras de la excavación sino también no afectar con la nueva obra la estabilidad del edificio existente.

Aquí se da normalmente la ventaja de que el terreno es de suficiente calidad, puesto que el edificio existente tiene la cimentación somera. La forma de actuación permite la excavación de todo el solar, excepto la zona cercana a medianerías y calles, que se deja en talud.

A veces el recalce no necesita ser continuo y basta con hacerlo en puntos convenientemente elegidos. Los bataches deberán distanciarse al menos dos veces su

anchura, construyéndose primero los l, 2, etc., después los 3, 4, etc., y terminándose con los 5, 6, etc, todo ello al 'tres-bolillo'.

4.2.5. Recalce por pozos para la habilitación de sótanos

Cuando el terrena no es fiable, aunque el edificio existente esté cimentado en él, es solución más segura la realización del recalce por pozos, operación idéntica a la descrita en el apartado 3 ,1. También se impone este método en recalce de cimentaciones antiguas profundas realizadas normalmente por pozos y arcos.

4.2.6. Construcción de muros de sótano por tramos descendentes

Cuando la cimentación del edificio existente es relativamente sobrada y el terreno es de calidad, pueden llegarse a construir los muros de sótano sin necesidad de recalce de la medianería cuando la debilitación producida se considera que no afecta al edificio. Si la excavación es por pozos o bataches, ha de cuidarse especialmente el recorte del terreno, que será siempre manual, cuidando el aplomado, y sobre todo, el no minar accidentalmente la cimentación. La operación así realizada tiene la ventaja de que, con una necesaria y constante vigilancia, podrán realizarse recalces allí donde el suelo no tenga la calidad esperada.

Terminada la fase a, es fundamental apuntalar el muro construido, acodalándolo interiormente o anclándolo al terreno.

A continuación se pasa a realizar la fase b en la misma forma que la anterior, como si de un primer sótano se tratara. Los tramos de muro de las diferentes plantas deberán ir a junta encontrada para mejor traba. El hormigo nado de los muro s inferiores es posible dejando en el encofrado una abertura longitudinal a modo de embudo o bebedero, que servirá como ménsula para apoyo de la estructura horizontal.

4.2.7. Recalces con micropilotes en habilitación de sótanos

Aquí la operación consiste en continuar hacia abajo muros y pilares, proporcionándoles nueva cimentación. Los micropilotes tienen una aplicación muy apropiada en estos trabajos, sobre todo en cimentaciones accesibles por su contorno, por lo que se aplicaran en cimentaciones interiores, tanto en zapatas corridas como aisladas.

Se procede, primero, recalzando la cimentación con micropilotes que la atraviesan (ver apartado 3.3), después previa descarga de la cimentación, se excava el entorno del recalce, se construye una zapata por debajo del nivel de sótano adherida a los pilotes y, finalmente, se forran los pilotes con hormigón para quitarles esbeltez, quedando

así el recalce terminado, que tiene el inconveniente de que ocupa un espacio considerable.

5. Recalce en superficie

5.1. *Introducción*

La forma tradicional de abordar la intervención en los cimientos de un edificio es el recalce. Consiste en reparar, reforzar, ampliar, modificar o sustituir los elementos de cimentación, aunque en algunos casos basta consolidando el suelo afectado.

Si el fundamento intervenido es superficial ($D \leq 4B$ con D = profundidad y B = anchura) y la actuación no supera este límite, se trata de un recalce superficial.

El motivo que justifica la intervención puede ser un defecto o alteración del subsuelo o de los cimientos, un cambio de uso con aumento de sobrecargas, incremento de altura, modificación de la estructura o la realización de sótanos por debajo del edificio existente o del vecino.

A veces no es necesario recalzar porque ya se ha producido la mayor parte del asentamiento (70 a 80 %) o porque lo que falta no compromete la estabilidad del edificio y sale más a cuenta reparar las lesiones.

Es conveniente recordar que la efectividad de la acción depende de la deformabilidad. En algunos casos, la dificultad para limitarla y los problemas de ejecución recomiendan la intervención en profundidad.

5.2. *Estudios previos*

El recalzado requiere el estudio detallado de las causas que lo motivan, una diagnosis precisa, el proyecto de intervención y el programa de seguimiento de los resultados. Para obtenerlos se necesita información previa sobre el edificio, los fundamentos, el subsuelo y las construcciones que puedan quedar afectadas. También hay que evaluar el asiento y el grado de consolidación para decidir si es realmente necesario recalzar.

Algunas actuaciones complementarias, como por ejemplo reparar conductos, pavimentar, recoger las aguas, impermeabilizar, eliminar vegetación o ventilar cámaras sanitarias pueden mejorar mucho la situación.

Tabla 5.1. *Información previa al recalce*

Edificio	**Cimentación**	**Suelo**	**Construcciones afectadas**
• Descripción de la estructura y las sobrecargas • Elementos rígidos vinculados a la estructura • Movimientos y lesiones • Localización de la red de alcantarillado y acometidas de servicios	• Tipo, dimensiones, estado de conservación, lesiones	• Estudio geotécnico con descripción y características • Resistencia y deformabilidad • Situación del nivel freático • Posibilidad de excavación	• Tipo • Cargas • Deformabilidad • Estado de conservación

Tabla según: Llorens, Josep Ignasi de, 1998.

5.3. *Tipología*

El recalce debe adaptarse a unas condiciones ya existentes a mejorar.

Habrá excavar sin descomprimir y evitar los movimientos verticales y horizontales y el incremento de humedad.

El trabajo se realiza con frecuencia en espacios restringidos y alturas limitadas afectando edificios en servicio. A menudo se necesita maquinaria ligera y en algunos casos limpieza y poco revuelo. La operación termina conectando el recalce a la cimentación para obtener resistencia y continuidad.

Teniendo en cuenta estos condicionantes se puede recurrir, para los recalces superficiales, a los tipos que se indican a continuación.

5.3.1. Reparación

Para restituir el estado original del cimiento.

Procedimientos: inyección, armado, postcompresión, zunchado o sustitución (ver figura 5.1).

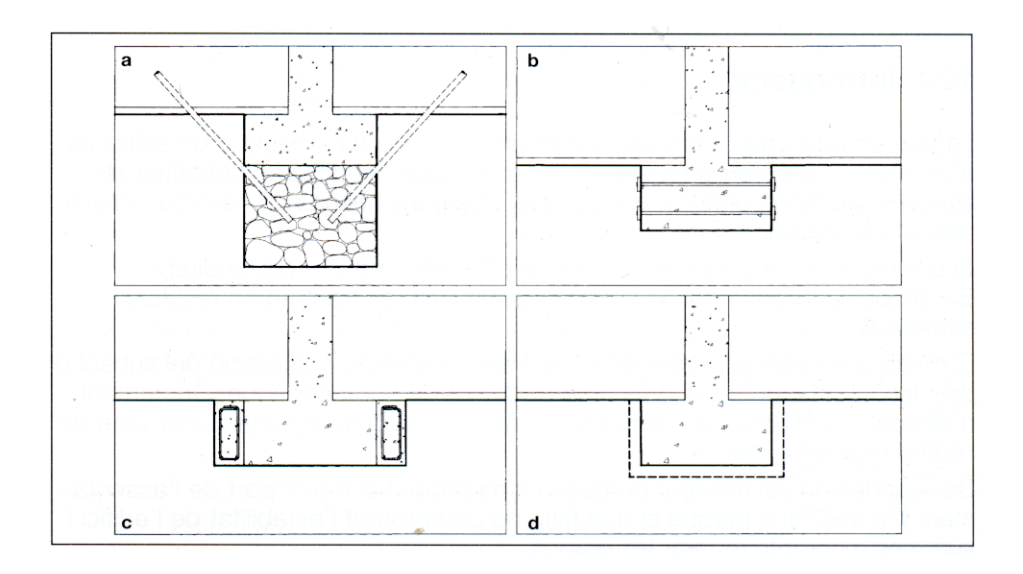


Figura 5.1. Tipos de reparación de cimentación superficial.

5.3.2. Ampliación

Para disminuir la presión de contacto o mantenerla si hay incremento de carga.

Procedimientos: ampliación en planta o en profundidad (figura 5.2).

Precauciones: en ampliaciones laterales es importante la adherencia de las caras laterales. Hay que mejorarla con anclajes, muelas o resina. Conviene recordar que en cimientos superficiales no se cuenta con la fricción de las caras laterales contra el terreno.

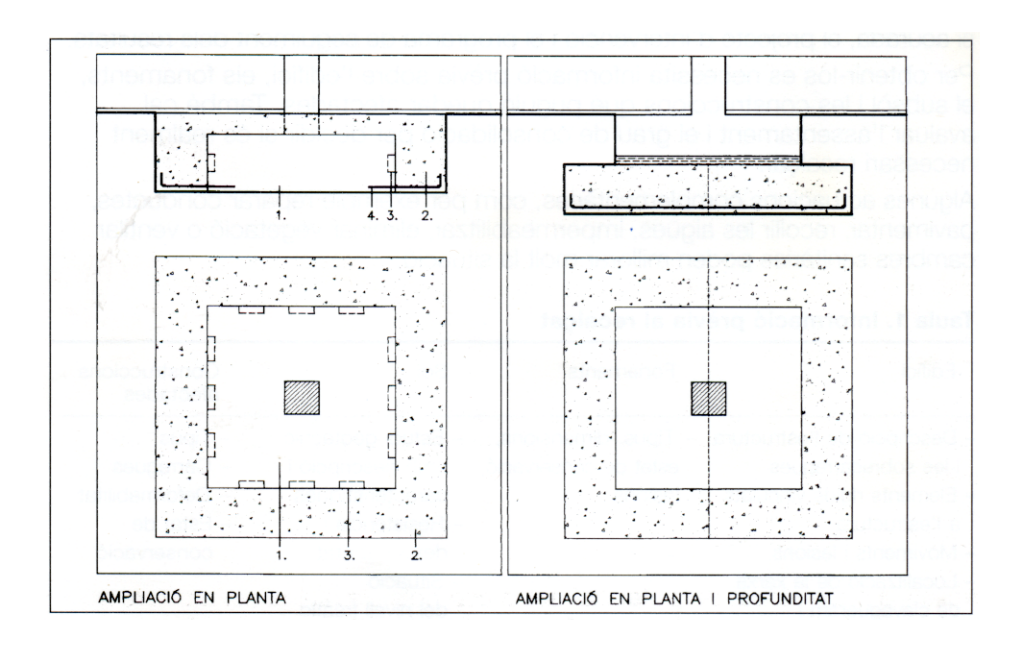


Figura 5.2. Modelos de ampliación de cimentación superficial.

En ampliaciones en profundidad se puede actuar por tramos para evitar que el fundamento quede descalzado. La continuidad entre tramos se puede mejorar con los procedimientos mencionados.

5.3.3. Recalce de cimientos medianeros

Es un caso particular de la ampliación de cimiento corrido en profundidad. Se puede utilizar hasta 5 o 6 m de profundidad (2 plantas) en suelos cohesivos por encima del nivel freático. Es una operación peligrosa para la seguridad de los trabajadores y el edificio que se recalza.

Por ello es necesario adoptar las precauciones que se comentan en el apartado siguiente.

Observaciones relativas al cálculo: el recalce de muros medianeros que delimita uno o dos sótanos actúa como cimiento y como muro de contención. Para la comprobación de la estabilidad al vuelco y al deslizamiento no se puede contar con la totalidad de la carga de la medianera, porque en la quiebra o fallo se moviliza como un arco de descarga que puede dejar un par de plantas gravitando sobre el recalce o la excavación.

5.3.4. Mejora del suelo

5.3.4.1. Inyecciones con o sin presión de lechada de cemento

mortero, bentonita o productos químicos

Se pueden realizar en suelos permeables (granulares) y bajo el nivel freático. Mejoran la resistencia, la impermeabilidad y la cohesión. También se aplican a la estabilización de bloques y el relleno de huecos bajo cimientos. El coste de la operación resulta bastante imprevisible porque es difícil prever la cantidad de fluido que se utilizará.

5.3.4.2. Congelación del suelo

Congelación del suelo para poder trabajar sin apuntalamientos, impermeabilizar, aumentar la resistencia o detener rápidamente una deformación. Es una técnica complicada que produce asientos al descongelar. Por eso no es muy indicada en operaciones de recalce.

5.3.4.3. Dren de arena

Son pilones de arena que aceleran la consolidación porque acortan la distancia de emigración del agua. Precipitan el asiento pero también lo pueden incrementar.

5.3.4.4. Electroósmosis

Aplica una diferencia de potencial entre dos polos clavados al suelo para forzar la circulación de un caudal. Acelera la consolidación. Se utiliza combinada con drenes.

5.4. *Ejecución*

El recalce es un proceso constructivo que se desarrolla en varias fases.

5.4.1. Entibación y descarga

Se realiza con la ayuda de una estructura provisional que debe mantener los requerimientos de resistencia, estabilidad y deformación admisible. Es necesario que deje suficiente espacio libre para poder actuar y que se puedan regular los movimientos.

Las soluciones tradicionales son el apuntalamiento hasta el suelo, entre muros y el apeo.

El apuntalamiento hasta el suelo está formado por una serie de tablones empalmados que se colocan en el exterior con una inclinación de 60 a 75°. No dejan mucho espacio y forman estructuras complejas limitadas a 4 ó 5 plantas. Por ello, si hay otro muro cerca, es mejor aprovecharlo para la estructura de apoyo que no se descansa en el suelo. La altura queda limitada a la del vecino y la longitud de los puntales horizontales a 9 m, si son de madera.

Para anchuras superiores hay que recurrir a estructuras metálicas en celosía, habitualmente tubulares.

Para limitar movimientos verticales y descargarlos se utiliza el apeo. Se basa en una serie de puntales verticales que soportan la viga superior bien ataconada contra la estructura a entibar.

Se forma un pórtico que se puede rigidizar con riostras. Otros medios complementarios son el refuerzo de esquinas con tirantes y placas de reparto, la utilización de cuñas para ajustar los movimientos, de morteros sin retracción para retacado y excepcionalmente los gatos planos o convencionales. Estos instrumentos requieren

mucho cuidado en su utilización porque producen fácilmente efectos contrarios a los deseados en actuar sobre construcciones rígidas.

En algunos casos, también se pueden reducir las sobrecargas vaciando y desalojando el edificio.

5.4.2. Excavación

Para las ampliaciones en profundidad hay que excavar pozos alternos empezando por los más cargados. No conviene realizar excavaciones generalizadas porque descomprimen el suelo, aunque se dejen taludes de contención, ya que se deterioran y complican el apuntalamiento. Los pozos deben ser de 1 m a 1,5 m de anchura y hasta 6 m de profundidad. Se ejecutarán de forma alternada y es conveniente entibar para evitar desprendimientos.

Los recalzados en profundidad deben abarcar la totalidad del cimiento en planta para evitar la excentricidad de la carga sobre la ampliación y que el cimiento viejo se apoye sobre materiales diferentes.

5.4.3. Hormigonado

El hormigonado del recalce se realizará en dos fases.

La primera, hasta pocos centímetros antes del fondo, es de hormigón para cimientos. Se deja unos días para que asiente la masa y se produzca la retracción. Entonces ya se puede realizar la segunda fase, que es la de retacado. Consiste en llenar lo que queda con hormigón o mortero sin retracción, hormigón seco picado con barra o ladrillo macizo, como hacía la construcción tradicional.

No se recomienda el vertido completo en una sola fase encofrada con tolva y retacado «por vasos comunicantes», ya que no evita la transmisión del asentamiento de la masa fresca y la retracción. Tampoco garantiza el retacado porque el aire retenido no tiene salida hacia el exterior.

5.4.4. Entrada en carga

Se realiza progresivamente a medida que se van llenando los tramos y se retiran los puntales. Conviene seguir los movimientos en magnitud, variación y dirección durante todo el proceso.

6. Recalce en profundidad

Las tipologías de inyección más básicas, según su funcionamiento, se podrían relacionar con las siguientes tipologías de inyecciones:

- Inyecciones de impregnación, a muy baja presión, incluso nula, con la inserción de un material con densidad similar al agua, y cuya funcionalidad es disminuir la porosidad del terreno, aumentando así su comportamiento impermeable.
- Inyecciones de compactación, a presión media, con la inserción de un material de gran viscosidad, que desplaza el terreno en torno al punto de inyección sin penetrar en sus huecos. Pretenden aumentar la cohesión del terreno por densificación.
- Inyecciones de baja movilidad, similares a las anteriores, pero cuya misión es el relleno de huecos de grandes dimensiones en el terreno, primando su concentración en el punto requerido y su no dispersión.
- Inyecciones de fracturación, a media presión (en ocasiones alta), introduciendo material de baja viscosidad, y que busca la rotura del terreno para la introducción de la lechada de pronto fraguado, produciendo la densificación y rigidización del terreno, creando una red estructuradora del terreno.
- Inyecciones de desestructuración, a muy alta presión, que introducen un material que se mezcla con el terreno, creando columnas de nueva consistencia. Su aplicación más conocida es el «jet grouting».

Los diferentes tipos de inyecciones tienen objetivos diferentes, tanto en su comportamiento y tipo de mejora del terreno, como en su propio proceso de ejecución en la obra. Una selección inadecuada puede ser fatal para el objetivo de la intervención y su ejecución, pues son inversiones, literalmente enterradas, que no hacen prever su fallo.

6.1. *Micropilotes*

La primera referencia histórica de los micropilotes data del año 1950 cuando se decidió añadir barras de acero a las inyecciones en el terreno. Los micropilotes tienen un diámetro que oscila-entre los 60 y 250 milímetros, siendo los más utilizados los de 150 y 200 milímetros. Se perforan in-situ verticalmente o con inclinaciones cercanas a los 20 grados. Posteriormente, la perforación se arma y se llena con mortero.

6.1.1. Perforación

La perforación se puede hacer con la colocación de camisa, o sin ella, según la estabilidad total del suelo.

En terrenos no muy duros, el sistema usual es la rotación continua con triconos o trialetas situados en la punta del primer tramo de una serie de tubos que se conectan sucesivamente hasta la profundidad necesaria. Si aparecen capas duras se pueden cambiar los triconos por coronas de metal duro. Si los suelos a perforar no son duros, se puede utilizar una hélice continua. Con el fin de perforar suelos más

resistentes se puede añadir a la rotación la percusión con martillo en cabeza. Para atravesar o empotrar en capas muy resistentes se utiliza el martillo de fondo.

La limpieza de los detritos del suelo se puede hacer con circulación de agua o con aire. Hay sistemas donde la tubería de perforación queda perdida después de la perforación y sirve como armado del micropilote. La lechada se inyecta por el interior de la tubería y sale por la parte inferior. En este sistema es posible aumentar el diámetro de la punta mediante presión controlada. Se pueden acoplar a las tuberías de la perforación diferentes cabezales de ataque según la naturaleza del suelo.

6.1.2. Armado

El armado de los micropilotes está formado normalmente por jaulas constituidas por barras de acero corrugado y estribos. El diámetro y número de barras dependerá de la capacidad mecánica resultante de los cálculos. Si es necesario aumentar el límite estructural del micropilote pueden colocar barras perforadas e incluso perfiles laminados.

6.1.3. Hormigonado

Una vez colocado el armado se procede al hormigonado. En general, el material utilizado es mortero con dosificaciones altas de cemento. Una dosificación tipo estaría formada por 600 kg de cemento de alta resistencia, 1m3 de arena y 200litros de agua, y se obtendrían valores de resistencia característica superiores a los 200 kq/cm^2.

A medida que se vierte el mortero, se extrae la camisa de perforación. Se puede comprimir el mortero contenido dentro de esta tubería con aire a presión controlada. Se trata de una presión global. Este sistema recibe el nombre de inyección con presión global unificada (IGU).

La colocación de vainas y obturadores en zonas seleccionadas del tubo de inyección permitirá aumentar el diámetro y la superficie lateral del micropilote en las zonas deseadas e incrementar considerablemente la capacidad portante. Este sistema recibe el nombre de inyección repetitiva y selectiva (IRS) y es muy adecuado en suelos granulares.

6.1.4. Aplicaciones

La aplicación principal de los micropilotes son los recalzados. El recalce de cimientos con micropilotes se puede hacer directamente sobre los cimientos antiguos o indirectamente con micropilotes para el exterior de los cimientos existentes y conectando el conjunto con pasadores.

Algunas veces se hacen distribuciones tridimensionales. El terreno queda encapsulado entre los micropilotes formando un bloque estructural de tierras y micropilotes.

El comportamiento del bloque recibe el nombre de efecto nido.

Estas disposiciones tridimensionales se pueden utilizar como soluciones de cimentación en edificios altos y esbeltos. Haciendo solidarios los mícropilotes con la base del edificio se consigue bajar el centro de gravedad del conjunto, con lo cual se aumenta la estabilidad.

También se puede aplicar la disposición tridimensional para resistir empujes. El elemento de contención así dispuesto se comporta como un muro de gravedad.

Otra aplicación de los micropilotes es como sistema de cimentación en sustitución de los pilotes, cuando las dimensiones del solar no permiten el acceso de la voluminosa maquinaria.

Los solares estrechos, las dimensiones no permiten hacer pantallas continuas o discontinuas de pilotes. En estos casos se puede recurrir a la construcción de pantallas discontinuas de micropilotes debidamente armados para absorber los momentos flectores producidos por los empujes. La rigidez de estas pantallas es muy escasa debido al pequeño diámetro de los micropilotes y no podrá ser autoportante, por lo que este sistema de contención requerirá la utilización de apeos o anclajes. Otra aplicación como sistema de contención de tierras se da en la ejecución de paraguas para la construcción de túneles.

6.1.5. Clasificación

Podemos hacer una clasificación de los micropilotes según los aspectos mencionados anteriormente. Así, podríamos clasificarlos atendiendo al sistema de perforación, a la presión de la inyección, el sistema de limpieza de los detritos, por el tipo de armado o según sea el sistema de recalce. Como resumen, damos el siguiente cuadro:

Tabla 6.1. *Clasificación de los micropilotes*

Según la presión:	sin presión con presión global unificada (IGU) con presión selectiva repetitiva (IRS)
Según la perforación:	en seco con lodos bentoníticos con colocación de camisa recuperable con colocación de camisa perdida
Según la limpieza de detritos:	con agua con aire
Según el armado:	con jaulas de barras corrugadas y estribos con barras perforadas con perfiles laminados
Según el sistema de recalce:	recalzado directo recalzado indirecto

Tabla según: Cervelló i Delgado, Santiago. 1998.

6.2. *Inyecciones a altas presiones*

Esta técnica es conocida con el nombre de Jet Grouting.

Las primeras experiencias se llevaron a cabo en Japón, en la década de los años 70. Los resultados de las primeras aplicaciones se dieron a conocer durante el Congreso Internacional de Mecánica del Suelo que tuvo lugar en Moscú en 1973. En Europa, las primeras experiencias comenzaron en Alemania en 1979, y en EEUU, en 1980.

Actualmente, su uso está muy difundido y ya es una técnica clásica dentro del campo de las cimentaciones especiales. Esencialmente consiste en la inyección de lechadas de cemento a presiones muy altas, capaces de romper el terreno y producir una mezcla de suelo con la lechada de cemento inyectada.

El equipo está formado por tres componentes, una perforadora similar a las utilizadas en los micropilotes pero dotada de mecanismos muy automatizados, una mezcladora que mide y dosifica las características de la lechada y una bomba muy potente capaz de bombear un gran volumen de caudales a grandes presiones.

La perforación se realiza con puntas de trialeta o tricono en suelos blandos o cohesivos y rotopercusión con martillo en cabeza para gravas o rocas duras. Los diámetros de la perforación oscilan entre 100 y 200 milímetros.

Una vez conseguida la profundidad deseada se extraen los tubos o monitores de perforación al mismo tiempo que se inyecta una mezcla a presiones muy altas. Por eso, el monitor dispone de unas toberas de salida de la inyección por encima de la cabeza de ataque.

La mezcla inyectada normalmente es una lechada de cemento pero se pueden inyectar también otros tipos tales como: sustancias químicas, bituminosas o bentonita.

El resultado de la aplicación es la formación de una columna de suelo cementado. Su dimensión y resistencia depende de factores tales como: la duración de la inyección, las velocidades de rotación y de extracción de los conductos, la presión aplicada, la dosificación, viscosidad y los componentes de la mezcla, tipo de suelo, etc.

6.2.1. Tipología

Se trata de un sistema con una avanzada tecnología y que, según las variables que intervienen, da lugar a diferentes tipos. Por eso, cuando se utilice este sistema se debe especificar la clase de Jet Grouting que se desea utilizar.

Jet 1 también llamado monojet

La inyección se realiza con lechada de cemento por medio de dos toberas situadas a distinto nivel. La presión de la inyección varía entre 20 y 60 MPa. La velocidad de ascenso de los tubos varía entre 5 y 50 centímetros por minuto y la velocidad de rotación entre 10 y 30 revoluciones por minuto. El diámetro de las toberas de la lechada de cemento es de 3 a 5 milímetros. La relación agua-cemento está entre 1 y 2. El diámetro de la columna que se obtiene dependerá de la naturaleza del suelo.

En suelos granulares se pueden obtener diámetros comprendidos entre 0,40 y 1,0 metros. En suelos cohesivos los diámetros varían entre 0,30 y 0,50 metros.

Jet 2 también llamado bijet

En este sistema la inyección es doble. Hay dos variantes, en el Jet 2 A la inyección es de cemento y aire, y el Jet 2 W con inyección de cemento y agua. En el Jet 2 A la presión de inyección de la lechada de cemento puede llegar a los 50 MPa y la del agua está comprendida entre 0,7 y 1,2 MPa.

Jet 3 también llamado trijet

La inyección es triple. Por la tobera inferior se inyecta la lechada de cemento hasta 50 MPa y aire y agua por la tobera superior. La inyección de agua se hace a 50 MPa y la del aire entre 0,7 y 1,2 MPa. La velocidad del ascenso de los tubos es de 4 a 1Ocentímetres por minuto y la velocidad de rotación de 3 a 8 revoluciones por minuto, el diámetro de las toberas de la lechada de cemento es de 6 a 8 milímetros y la del agua de 1 a 5 milímetros. Para la lechada se utilizan relaciones agua-cemento entre 0,7 y 1. El caudal de lechada será de 50 a 180 litros por minuto, el del agua de 40 a 100 litros por minuto y el del aire de 0,4 a 1 metro cúbico por minuto. En suelos granulares los diámetros de las columnas tratadas varían entre 1,50 y 2,50 metros y suelos cohesivos entre 0,80 y 1, 50 metros.

6.2.2. Aplicaciones

Las principales aplicaciones del Jet Grouting son:

- Cimientos profundos. Puede ser una solución alternativa a la utilización de pilotes. El principal inconveniente con relación a los pilotes es la compresibilidad más grande del Jet.
- Recalzado con columnas que sirven de apoyo a la cimentación existente. Es una solución alternativa efectiva a los micropilotes.
- Pantallas con contención de tierras. Se pueden hacer columnas secantes perimetrales a modo de pantallas continuas. Puede ser una alternativa a los lugares donde la presencia de piedras grandes haga difícil la excavación de pantallas. Según las características del suelo y de la mezcla a inyectar se pueden conseguir pantallas con un grado de impermeabilidad alto.
- Estabilización de taludes. Para coser entre sí estratos que resbalan. La inercia mayor de las columnas de jet puede dar mejores resultados que la utilización de micropilotes.
- Paraguas. Es un sistema muy utilizado en obras públicas para la construcción de las bóvedas de los túneles.

7. Una reflexión en torno a las técnicas de intervención

7.1. *Sobre la representatividad de las fisuras*

En principio hemos aceptado que las fisuras inclinadas (básicamente, de cortante) son síntoma de la presencia de asentamientos. Pero hay otras causas que pueden producir lesiones similares. Como podemos observar en la figura 7.1 (a, deformación de los forjados. b, dilatación térmica. c, retracción hidráulica), algunas grietas, causadas por una deformación excesiva de los techos y muchas atribuibles a incrementos diferenciales de retracción y temperatura en la cubierta o de su apoyo tienen recorridos del mismo tipo y pueden inducir a error.

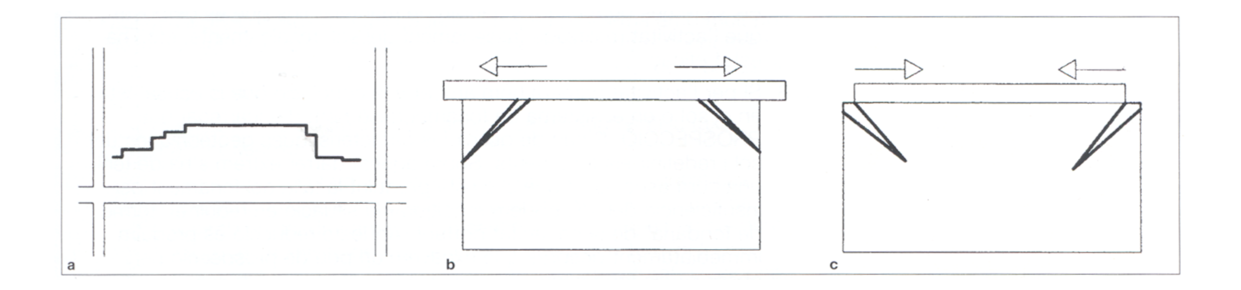


Figura 7.1. Fisuras de retracción y dilatación en forjados.

En estos casos hay que observar los límites del techo y darse cuenta, si se puede, que ha habido recorridos horizontales.

Hay varios casos en los que el recorrido de las partículas no es absolutamente vertical. En un desplazamiento inclinado (ver figura 7.2) podremos leer un componente en el sentido vertical (asentamiento) y otro en sentido horizontal.

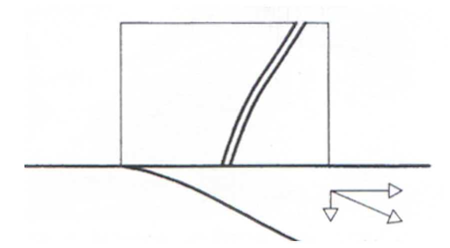


Figura 7.2. Desplazamiento en sentido horizontal y vertical.

Hay que saber que los medios de recalce que tenemos al alcance (micropilotes, Jet) resuelven relativamente bien los recorridos verticales, pero ni son lo suficientemente rígidos ni suficientemente resistentes para hacer frente a las flexiones que causa el componente horizontal. En una situación como la descrita y después de un gran gasto realizado en el recalce, puede darse una situación de fracaso al no producirse la misma estabilización esperada ya que las deformaciones horizontales siguen progresando.

Lo más complejo de este tema es la dificultad que hay para saber el número de toneladas que se movilizan en el desplazamiento. Pueden llegar a ser de tanta entidad (si se trata del desplazamiento de un talud, por ejemplo) que la cuestión no sea resoluble, Sin embargo, han resultado eficaces actuaciones del tipo de poner los micropilotes inclinados, construir elementos de pantalla con el momento de inercia máximo en el sentido de la flexión o agrupamientos de Jet Grouting de gran volumen (ver figura 7.3).

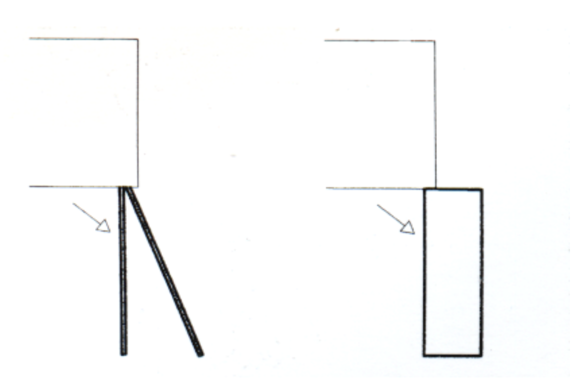


Figura 7.3. Afección de los empujes en el micropilotaje.

ISBN: 978-84-17429-28-7

DOI:http://dx.doi.org/10.6035/Sapientia144

7.2. *Sobre la metodología para la diagnosis*

Buena parte de los errores que se producen al intentar resolver las fallas de cimentación son causadas por errores o déficits en el diagnóstico. Un método que, siempre que se pueda, debería intentar cumplir es el siguiente:

1. La actividad profesional suele comenzar con una inspección exhaustiva. Inspección de la posición y el recorrido de las grietas y de todo el sistema estructural. Las grietas nos dirán cuál es la causa más probable de su origen. La inspección extendida a la globalidad del sistema estructural nos debe servir para deducir si la deformación causada puede producir una falla de segundo orden que podría llegar a ser un colapso.

El caso más típico es que las deformaciones, que siempre causan tracciones a nivel de los techos, promuevan el descabalgamiento de envigados con poca carga. A menudo, la relación entre grietas y fisuras y la deformación del conjunto no se ve clara si no se hace una representación en el espacio.

2. La segunda actividad, inmediata a la primera, será la de arbitrar la disposición de SISTEMAS DE CONTROL de la velocidad con que se producen las deformaciones. Situaremos controles particulares, directamente sobre las grietas que parezcan más vivas (testigos de yeso o de vidrio fechados, comparadores, extensómetros...) controlados o no por una unidad informática, en el lugar o a distancia (según importancia de la obra, ganas o presupuesto), y controles generales; estos deben suministrar información sobre cómo se mueve la construcción en conjunto. Suele ir de sencillas nivelaciones sobre referencias situadas en los pilares de la planta más libre, trabajos taquimétricos de precisión, plomadas fijas o inclinómetros.

De toda esta actividad tenemos que acabar deduciendo una ley y/o leyes de deformación que, básicamente, nos deben servir para dos objetivos: terminar de ratificar la causa de las lesiones y prevenir posibles colapsos estructurales a medio plazo.

Los sistemas de medida deberán mantenerse hasta que se demuestre que la actividad realizada (secado del suelo, recalces, etc.) ha sido eficaz.

3. Si por la actividad primera hemos llegado a la conclusión de que la causa está en el suelo o en el sistema de cimentación debemos encargar una prospección. Se deben definir las características geotécnicas del suelo y redefinir los fundamentos. Sobre este último extremo se debe tener especial cuidado ya que si se está produciendo la falla del fundamento por insuficiencia del suelo, podemos empeorar la situación al reducir el «término de profundidad» de la capacidad portante. Esta reducción se producirá inmediatamente después de que excavamos un pozo de prospección para observar los cimientos.

De la información Geotécnica deduciremos: las características del entorno (por si la construcción está involucrada en un movimiento de gran alcance), los tipos de suelo en que se apoyan los fundamentos (por si el problema es tan directo que algún cimiento ha apoyado en un suelo de relleno), y sobre todo (fundamental de cara a la certeza sobre la determinación de la causa y de su reparación) un estudio sobre la ley propia de consolidación de la parte de suelo más característica. Si conseguimos la gráfica de consolidación-tiempo (ver figura 7.4a), podemos terminar de concluir la causa, en comparación con la ley de deformación-tiempo que estamos leyendo en las grietas (o en la deformación generalizada del edificio). Si son paralelas es evidente que se trata de un problema de una cimentación inicial apoyada sobre un suelo demasiado compresible. Si no lo es, quizás, podremos relacionarlo con incrementos en la tasa de humedad del suelo sobre todo si las gráficas no son continuas (ver figura 7.4b). Si crece según una línea continua de más pendiente que la gráfica de consolidación puede ser que el origen esté en una falla de talud o en una descompresión del suelo, etc. Si podemos demostrar que en el momento de la observación se ha llegado a tener un 85 ó 90 % de la consolidación, del asentamiento final, entonces casi no hay que hacer otra cosa que restituir la continuidad dañada del sistema.

4. Con las actuaciones anteriores debemos poder determinar la causa cierta y, en su caso, orientar la intervención posterior. Debemos poder redactar el informe final.

7.3. *Sobre la necesidad de recalzar*

Un recalce es una operación costosa y relativamente arriesgada IJA que podemos pasar etapas intermedias de menor seguridad), además, como hemos visto antes, si hay componentes en sentido horizontal, incluso es una operación de resultados inciertos. En general, hay que evitar de este tipo de operación y buscar alternativas antes de enzarzarse en él. Si por medio de los gráficos de deformación, tenemos la certeza de que el agua es un dinamizador del problema, podemos actuar sobre su control para ver si así se consigue la estabilización.

Las operaciones más características son:

1. Eliminar céspedes y árboles especialmente vitalistas. Las primeras, al ser regadas, incorporan cantidades considerables de agua en el suelo (parece mentira la cantidad de viviendas unifamiliares, acomodadas, que hay en suelos expansivos rodeados de grandes manchas de césped). Los árboles vitalistas, en épocas secas, causan extracciones de agua del subsuelo y motivan asientos por retracción.

2. Conducir el agua de las cubiertas. Por motivos formales, a menudo el borde de los tejados no se acaba con un canalón, el agua de lluvia, al caer, se acumula precisamente en los suelos más próximos a los cimientos.

3. Controlar que las aguas de lluvia que circulan por el solar no se acumulen cerca de la construcción. Las pendientes generales deben ir en el sentido contrario. Una buena medida es pavimentar la superficie más grande posible alrededor del edificio.

4. Reparar las conducciones de agua. Las de las aguas residuales pueden haberse roto e ir agrandando el problema. Las de las aguas de consumo pueden actuar de dos maneras: si están rotas es, por causa de su presión, suelen desencadenar un grave problema con muy poco tiempo (en este caso la relación causa / efecto es directa), si condensan, pueden producir problemas en suelos especialmente sensibles, como el caso de las arcillas expansivas.

5. Ventilar las cámaras sanitarias de manera que no aumente la tasa de humedad y condense.

6. Si las aguas vienen de fuera, hay que hacer barreras drenantes. En este caso, hay que tener presente dos circunstancias: la primera es que una zanja de drenaje (con un suelo drenante y un tubo semiporoso al fondo) es un elemento constructivo que necesita de mantenimiento y que a corto plazo (pongamos 10 años) quedará inservible ya que el sistema se habrá saturado, la segunda, que una zanja de drenaje en funcionar como un captador de agua puede tener un efecto completamente contrario al que queremos que tenga. Si después de un tiempo prudencial, los sistemas de medición colocados demuestran que se ha conseguido estabilizar el edificio nos habremos ahorrado el recalce.

Históricamente hay muy pocas ocasiones en que hayamos podido observar que los «técnicos» de turno se hayan atrevido a colocarse debajo del edificio con problemas, para recalzar del mismo. Creo que el monumento a Washington fue uno de los primeros y aún esta operación sólo se hace ver parcialmente.

La opción más clara al hincapié es olvidarse del asentamiento, que tarde o temprano va a parar, y dedicarse a estabilidad utilizar aquellas partes que han quedado dañadas, sea por medio de tirantes situados en la parte alta, sea por contrafuertes que alejan el punto de vuelco. En la figura 7.5 se demuestra la gran eficacia de un atirantamiento situado en la parte alta para estabilizar una pared que ha quedado suelta por asentamientos.

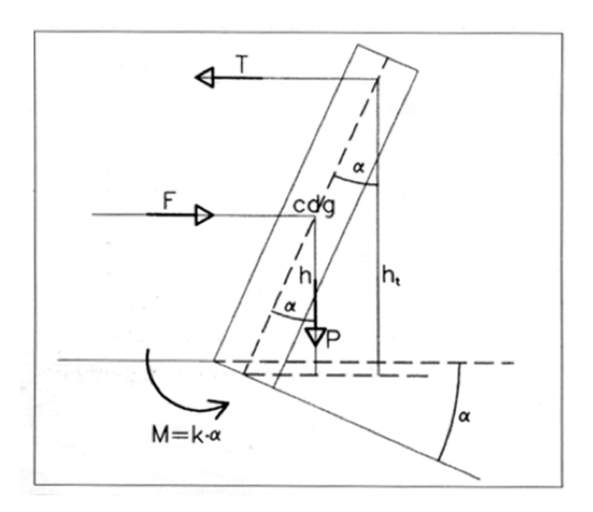


Figura 7.4. Momento de vuelco y esfuerzos que interactúan.

7.4. *Sobre las exigencias de un recalce*

El recalce de monumentos

Un recalce es una operación que se realiza en un entorno construido y, a menudo, decorado. Si no se tiene cuidado puede ser más cara la restitución de lo que se estropee que no la operación de recalce. Es importante tener claro el cuadro de exigencias fundamentales que deben regir estas operaciones.

En fase de diseño:

1. El método que se utilice debe permitir llegar a la profundidad adecuada con las condiciones de entorno que se presenten: que el nivel freático sea alto, y / o que la cohesión sea nula ... por ejemplo,
2. Las deformaciones del nuevo sistema de cimentación deben ser pequeñas, sobre todo si están vinculadas a otros fundamentos consolidados que no se recalca. Se puede partir de valores de referencia como la media pulgada o la distorsión angular máxima de 1/1.000.
3. Que el sistema de conexión sea sencillo. Cuando se comparan costes de diversos métodos siempre se debe tener en cuenta la dificultad y el coste de cada uno de ellos para conectarse a la estructura antigua (ver figura 7.6, a. Pilotes con viga HEB, b. micropilotes inyectados, c. jet grouting).

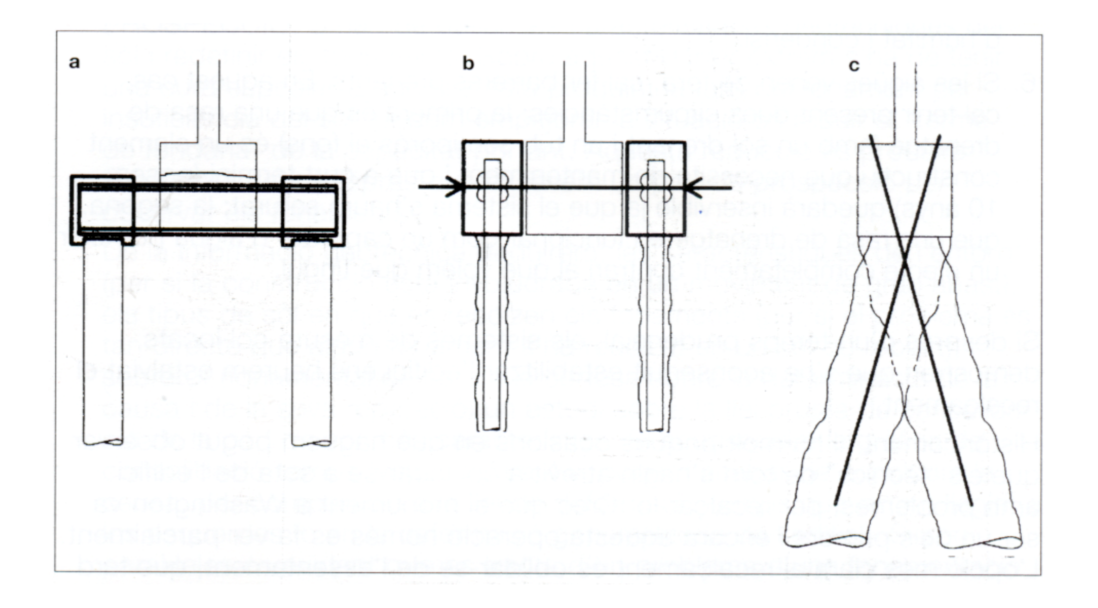


Figura 7.6. Pilotaje de cimentaciones superficiales.

4. Que la durabilidad de la solución esté de acuerdo con las características del edificio a recalzar. Cuando la intervención se realiza sobre un edificio pétreo de 500 años (y que se propone que dure otros 500) es absurdo plantearse una intervención en base a elementos metálicos o de hormigón armado con una duración tan limitada como hoy conocemos.

En fase de construcción:

1. Que se pueda trabajar en espacios pequeños, con alturas no mayores de 2,5 my anchos máximas alrededor del metro (al menos en una dirección).
2. Que el peso del equipo sea reducido y desmontable ya que muy a menudo tendrá que ser soportado por un forjado sanitario y transportado (en piezas) a mano.
3. Que el procedimiento sea limpio, no salpique lechada ni acumule grandes cantidades de suelo excavado, que el método de desplazamiento de la maquinaria no cause agresiones en los pavimentos.
4. Que las perforaciones sean de pequeño diámetro y los daños que cause la perforación a otros elementos constructivos sean mínimos.

7.5. *Sobre las extrapolaciones*

Cuando se desconoce una técnica única, se suele realizar una extrapolación, a veces arriesgada, los conocimientos que se tienen. Si no se sabe gran cosa de Mecánica del Suelo se tiene la tendencia natural a aplicar criterios de resistencia, si no se sabe cómo recalzar un edificio de gran entidad se tiende a extrapolar lo que se haría en una construcción ó más al alcance ya experimentada.

En la figura 7.7 se puede ver cómo un técnico se planteó la consolidación de la Torre de Pisa en base al mismo procedimiento que López Collado propuso para el recalce de un pilar de nave «no muy cargado». En la figura 7.8 se observa la solución, imaginativa y muy adecuada al caso, que hace Leonardo.

Como es sabido, hoy se está logrando la estabilización de la Torre de Pisa en base a un desplazamiento del centro de gravedad (cdg) mediante la acumulación excéntrica de grandes elementos de plomo (Se aplica una solución que hubiera podido aplicar con los conocimientos de la edad media).

8. Bibliografía

Bellmunt i Ribas, Rafael. 1998. «Simptomatologia. Lesions als fonaments i sistemes de contenció» en AA.VV. (Ed) *Manual de geotecnia i patologia, diagnosi i intervenció en fonaments* (79-88). Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. Barcelona.

Canalda, Joaquín y José Luis Fernández-Salso. 2008. «Pilotes y micropilotes. Sistemas de inyección y consolidación del terreno» en Gibert, Luis Miguel (Ed). *Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales,* tomo 3 (43-60). Munilla-Lería. Madrid.

Cervelló i Delgado, Santiago. 1998. «Recalç en profunditat» en AA.VV. (Ed) *Manual de geotecnia i patologia, diagnosi i intervenció en fonaments* (129-136). Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. Barcelona.

Cuellar, Vicente. 2004. «Inyecciones por fracturación e inyecciones de impregnación». *4.as Jornadas Técnicas SEMSIG-AETESS*, Febrero, Ed. CEDEX. Madrid.

Da Casa, Fernando, Ernesto Echeverría y Flavio Celis. 2007. «La intervención bajo rasante, la importancia de su conocimiento. La técnica de la inyección armada». *Informes de la Construcción*, 59 (505): 21-35.

Da Casa, Fernando, Ernesto Echeverría y Flavio Celis. 2005. «El recalce de cimentaciones en el Patrimonio Arquitectónico». Revista *VIVIENDA, la revista de la construcción*. Buenos Aires, Argentina.

García Esparza, Juan Antonio. 2003. *Documentación de la Rehabilitación de la Torre-Campanario en la Iglesia Parroquial de la Asunción en Vistabella del Maestrazgo*. Empresa Artola Construcciones.

García Esparza, Juan Antonio. 2005. *Documentación de la Rehabilitación de la Iglesia Parroquial de Losa del Obispo*, Valencia. Inédito. Empresa Clar Rehabilitación.

García Esparza, Juan Antonio. 2005. *Documentación de la Rehabilitación del Mercado de Colón de Valencia*. Inédito. Empresa EMR, S.L.

García Esparza, Juan Antonio. 2006. *Documentación de la Rehabilitación del Mercado Central de Valencia*. Inédito. Empresa ISOLUX-Corviam.

García López, Mariano. 2008. «Patología en cimentaciones» en Gibert, Luis Miguel (Ed). *Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales*, tomo 3 (15-42). Munilla-Lería. Madrid.

Garrido Simón, Jerónimo. 2004. «La técnica de inyecciones armadas aplicada a la ejecución de sótanos bajo edificaciones existentes». *Ingeniería del Terreno (Ingeoter)* Tomo 4.º. Capítulo 17. ed. U.D. Proyectos - ETSI Minas. Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.

Gorse, Christopher y David Highfield. 2009. *Refurbishment and Upgrading of Buildings*. London & New York. Spon Press – Taylor and Francis.

Llorens, Josep Ignasi de, 1998. «Recalç en superfície» en AA.VV. (Ed) *Manual de geotecnia i patologia, diagnosi i intervenció en fonaments* (123-128). Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. Barcelona.

Mañà i Reixach, Fructuós. 1998. «Una reflexió a l'entorn de les tècniques d'intervenció» en AA.VV. (Ed) *Manual de geotecnia i patologia, diagnosi i intervenció en fonaments* (137-141). Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. Barcelona.

Mascareñas i Rubiés, Pere. 1998. «Geotècnia aplicada a la diagnosi» en AA.VV. (Ed) *Manual de geotecnia i patologia, diagnosi i intervenció en fonaments* (59-68). Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. Barcelona.

Rossi, Pier Paolo. 1998. «Fonaments. Metodologia de diagnosi i campanya d'assaigs» en AA.VV. (Ed) *Manual de geotecnia i patologia, diagnosi i intervenció en fonaments* (93-105). Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. Barcelona.

Santos, Antonio y Vicente Cuellar. 2000. «Mechanical improvement of an angillaceous marl through cement based reinforced grouting» en, Hans Rathmayer (Ed) *Grouting Soil Improvement. Geosystems Including Reinforcement*. Helsinki. Finnish Geotechnical Society.

9. Normativa

9.1. *Código Técnico de la Edificación*

DB-SE-C Seguridad estructural: Cimientos
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SE-C.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.

B.O.E.: 28 de marzo de 2006
Modificado por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007

DB-HS Salubridad
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HS.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 28 de marzo de 2006
Modificado por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007
Corrección de errores.
B.O.E.: 25 de enero de 2008

DB-HE Ahorro de energía
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HE.
Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, del Ministerio de Fomento.
B.O.E.: 12 de septiembre de 2013
Corrección de errores.
B.O.E.: 8 de noviembre de 2013
9.2. Normas Tecnológicas
EHE. 2008. Instrucción de hormigón estructural, Ministerio de Fomento, Madrid.
UNE-EN 12812. 2008. Falsework - Performance requirements and general design. European Standard.

10. Software Técnico-Comercial

Arquímedes y generador de precios CYPE / AutoCAD. Autodesk / REVIT. Autodesk

Base de datos de construcción de la Comunidad Valenciana. Instituto Valenciano de la Edificación.

Base de datos Precio Centro Guadalajara. Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de Guadalajara.

11. Congresos internacionales sobre la materia

Asociaciones que patrocinan los congresos internacionales del ISI Conference Proceedings Citation Index.
Foundations & Buildings:
European Convent Construct Steelwork
Int Assoc Bridge Maintenance & Safety
Int Assoc Bridge & Struct Engn

Int Assoc Shell & Spatial Struct
Architects Council Europe
American Inst Architects
American Soc Civil Engineers
European Federat Precast Concrete
Building Technol Educators Soc
European Assoc Architectural Educ
European Federat Engn Consultancy Assoc
European Federat Stuct Glass Lab
Int Sci Comm Anal & Restorat Struct Architectural Heritage
American Soc Civil Engineers, Struct Engn Inst
TensiNet
Inst Struct Engineers
StructuralEngineer.info Website
Associacao Nacl Industriais Prefabricacao Betao
Associacao Portuguesa Projetistas Consultores
Associacao Portuguesa Seguranca Conservacao Pontes
Associacao Portuguesa Construcao Metalica Mista
Ordem Arquitetos Seccao Reg Norte
Ordem Engenheiros
Sociedad Espanola Historia Construcc
Wessex Inst Technol
Wessex Inst Technol, Transact Built Environm.
Geophysics and GPR:
Group-for-Solid-Earth-Geophysics
Tech Univ Kosice, Civil Engn Fac
Univ Miskolc
Int Soc Photogrammetry & Remote Sensing
IEEE Geoscience & Remote Sensing Soc
Soc Explorat Geophyiscists
NDT & E Int
Hong Kong Polytechn Univ, Fac Construct & Environm
3D RADAR
Transient Technologies
GSSI
Earth Prod China Ltd
RADAR Syst Inc
Laurel Technologies
Sensors & Software
GEOTECH
Ingn Syst
UTSI Elect
GUIDELINEGEO
China Univ Mining & Technol
GPR SLICE
IEEE
IEEE Comp Soc

IEEE Visualizat & Graph Tech Comm
IAEG
European Cooperat Sci & Technol Act TU 1208 Civil Engn Applicat Ground Penetrating Radar
Univ Catholique Louvain
Geoscanners
IDS
GSSI
Radar Syst
Geotech
Roadscanners
3D Radar
Allied Associates
Geomatrix Earth Sci Ltd
Utsi Elect
Transient Technologies
Mala
Sensors & Softwares
Radarteam Sweden
Rohde & Schwarz
European GPR Assoc
IEEE Geoscience & Remote Sensing Soc.

12. Material docente complementario

Esta unidad didáctica se complementa con material gráfico de Casos Particulares de Estudio en obras de rehabilitación:

- Iglesia Parroquial de Losa del Obispo, Valencia.
- Mercado Central de Valencia.
- Iglesia Parroquial de Vistabella del Maestrazgo, Castellón.
- Mercado de Colón, Valencia.

Unidad didáctica 2
http://bit.ly/2PVNK27



CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EDIFICIOS

Unidad didáctica 3

Sintomatología, diagnosis e intervención en estructuras de carga

ÍNDICE

Esta unidad didáctica se complementa con material gráfico de Casos Particulares de Estudio en obras de rehabilitación:

- Sala lateral junto a la entrada del Mexuar, Alhambra de Granada.
- Iglesia Parroquial de Losa del Obispo, Valencia.
- Mercado Central de Valencia.
- Antigua Posada en Torrebaja, Valencia.

Sintomatología, diagnosis e intervención en estructuras de carga

1. Posibles disfunciones estructurales. Sintomatología

1.1. *Definiciones previas*

Reparar:
1. Arreglar una cosa que está rota o estropeada.
2. Enmendar, corregir o remediar. 3. Remediar o precaver un daño o perjuicio.
Reparación: Acción y efecto de reparar cosas materiales mal hechas o estropeadas.

Restaurar:
1. Reparar, renovar o volver a poner una cosa en aquel estado o estimación que antes tenía.
2. Reparar una pintura, escultura, edificio, etc. del deterioro que ha sufrido.
Restauración: Acción y efecto de restaurar.

Dañar:
1. Causar detrimento, perjuicio, menoscabo.
2. Maltratar o echar a perder una cosa.

Daño:
1. Efecto de dañar o dañarse.
2. Detrimento o destrucción de los bienes.

1.1.1. Grados y matices en la intervención

Mantenimiento

Revisión: toma de datos (no clasificable como una actividad propiamente constructiva) consistente en una inspección directa y general de la obra, para verificar su estaco y para cuantificar los daños.

Mantenimiento: Simple reposición de elementos fungibles o, como mucho, ejecución de obras muy localizadas, de pequeño volumen y conforme a sencillas tecnologías. Tiene como objetivo concreto el evitar que se presenten unos daños más graves cuya posible aparición es presumible.

Conservación

Reparación: Actividad correctora en la que, primordialmente, preocupan los condicionantes de resistencia, estabilidad, durabilidad y funcionalidad, muy por encima de cualquier consideración de los factores estéticos.

Restauración: Reparación y/o reconstrucción en la que se mantiene firmemente la intención de que los resultados finales de la intervención queden entonados con el conjunto y con los detalles de la edificación existente, baja todos sus aspectos: arqueológicos, históricos, artísticos y monumentales.

Rehabilitación: Restauración que incluye las suficientes adaptaciones, dotaciones y mejoras para que, a la conclusión de las obras y con toda propiedad, el edificio pueda ser destinado a alguna utilización práctica actual.

1.1.2. El muro

Hay muros estructurales, cuyas finalidades son:

- Sustentar las acciones verticales: Muros de carga.
- Contrarrestar los empujes horizontales u oblicuos: Muros de contención.
- Evitar los desplazamientos, en general: Muros de arriostramiento.

Hay muros divisorios cuyas finalidades son:

- Separar los espacios primarios, interiores y exteriores: Muros de cerramiento.

1.1.3. Fallos técnicos en los muros

1.1.3.1. Fallos de la posición espacial

Este grupo de fallos comprende los desequilibrios y los subsiguientes movimientos más bien vinculados a insuficiencias de la estabilidad del muro, con una incidencia menos directa y/o menor de los factores de resistencia de los materiales y de los elementos constructivos.

1.1.3.2. Fallos de la forma propia

Este grupo de fallos comprende las variaciones dimensionales y las subsiguientes deformaciones y desproporciones más bien vinculadas a insuficiencias de la resistencia de los materiales y de los elementos constructivos.

1.1.3.3. Fallos de la cohesión interna

Este grupo de fallos comprende las alteraciones intrínsecas de los materiales y/o componentes que integran materialmente los elementos constructivos del muro, a cuyas insuficiencias de la calidad están vinculadas.

- Cohesión de primer orden (o «micro-cohesión»): es una capacidad mecánica natural e intrínseca de cada material y/o componente constructiva, en virtud de la cual se mantienen unidas las partículas o fracciones que lo integran. Pueden servir como ejemplos la cohesión intermolecular en una barra de acero, o la cohesión de la suma de áridos y cemento en un hormigón.
- Cohesión de segundo orden (o «macro-cohesión»): es una capacidad mecánica buscada y conseguida para cada conjunto de distintos materiales, componentes y/o elementos constructivos, en virtud de la cual se mantienen unidos unos con otros. Pueden servir de ejemplos la cohesión de los subsistemas mantenidos mediante adhesivos, o la cohesión de ladrillos, aglomerantes y aplacados en una fachada.

1.2. *Lesiones deducibles a partir de la deformación transversal de la pared*

1.2.1. Modelos de deformación transversal

En función del tipo de vínculo mecánico al que se pueda asimilar el contacto o la conexión de la pared con los elementos constructivos que lo rodean, las cargas verticales pueden originar varios modelos de deformación según el plano transversal de la pared. En este caso, la falta de planeidad y la posible presencia de fisuras horizontales en los tramos de máxima concavidad son los síntomas visuales de la situación de pandeo que experimenta la pared. La figura muestra el estado final de una pared completamente deformada bajo los efectos de una carga vertical aplicada experimentalmente.

1.2.2. Alabeo originado por las cargas verticales

A veces, el alabeo originado por las cargas verticales no se refleja en una fisuración horizontal superficial del elemento, sino que provoca una fractura interna verticalizada, no visible en principio en las cerraduras de la pared. En el esquema se puede observar como el alabeo a que se encuentran sometidos los paños de mampostería es propiciado por la acumulación de cargas y también se debe a su mayor deformabilidad con respecto a las rígidas esquinas de sillares de piedra.

1.2.3. Inflexión progresiva de la pared

La inflexión progresiva de algunos tipos de paredes gruesas, a base de tapia, o piedra, originada por los efectos diferidos de las cargas verticales, es la causa de esquemas de fisuración y de la consecuente ruptura de los vínculos verticales y horizontales con las paredes y los techos que contactan.

1.3. *Lesiones deducibles a partir de los efectos de los empujes*

1.3.1. Empujes no compensados de las bóvedas

Los empujes no compensados de las bóvedas contiguas a las paredes de carga producen a menudo el bombeo y, consecuentemente, fisuraciones en las conexiones con las paredes transversales. En las mismas paredes transversales y en las bóvedas o cúpulas descomprimida por el movimiento de la pared.

1.3.2. Otras acciones horizontales

Otras acciones horizontales, como los empujes generados por los elementos de las cubiertas, pueden también generar desplomes de las paredes de carga, induciendo reducciones de su sección útil y esquemas de fisuración como el de la figura 1.3b y c. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que acciones como el giro de la cimentación en la base de la pared también pueden originar prácticamente los mismos efectos. La acción del sismo en el plano de una pared puede asimilarse al de dos empujes sucedidos casi simultáneamente al nivel de la cimentación, lo que origina el efecto suma de los dos movimientos horizontales, tal y como se deduce de la fisuración en aspa que muestra la figura 1.6, característica de este tipo de acción en elementos rígidos.

1.4. *Lesiones debidas a la descompresión de la pared*

1.4.1. Asentamientos diferenciales

La descompresión originada por el descenso de las zonas más asentadas de la cimentación modifica la verticalidad de las líneas isostáticas de compresión, tal como muestra el gráfico superior izquierda de la figura 1.1, que representa el caso de un asentamiento de poca longitud en la parte extrema de una pared.

Los otros gráficos de la misma figura muestran cómo, en función de la relación entre la altura de la pared y la longitud asentada, varía la inflexión y la localización de la sección fracturada, siguiendo siempre las directrices de los correspondientes modelos de isostáticas. La progresión del movimiento descendente puede producir rupturas sucesivas de la pared sin variación apreciable de las inflexiones señaladas.

En caso de que la zona más asentada sea la correspondiente a la parte central de la pared, el esquema de isostáticas y la localización de las secciones fracturadas se simetrizan según el eje marcado por la arista del tramo asentado del gráfico superior izquierda de la figura 1.6, el detalle de los diversos modelos de esquemas de isostáticas en función de las variables mencionadas se puede consultar en muchos libros, entre los que cabe mencionar, por su exhaustividad, el de *Sisto Mastrodicasa, Dissesti statici delle strutture edilizie.*

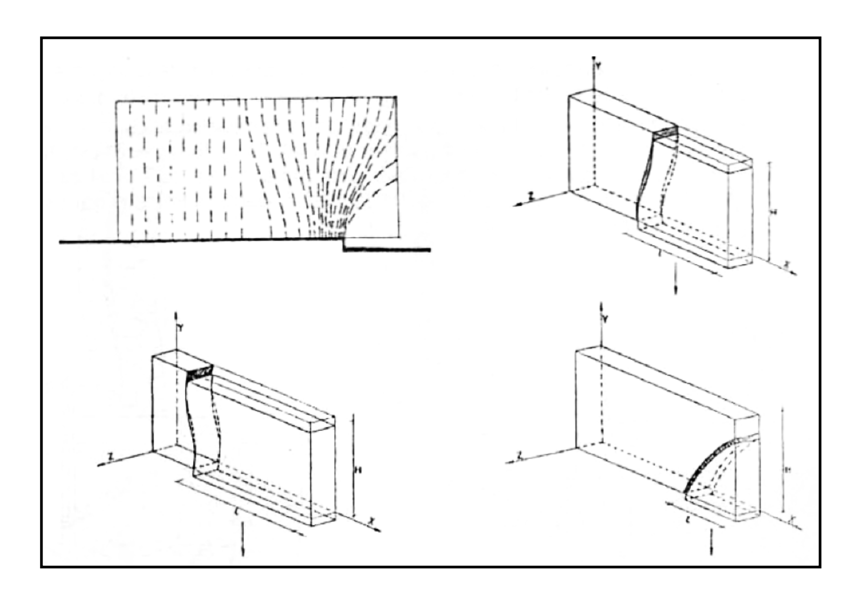


Figura 1.1. Asiento corto en extremo de muro.

En las paredes con ventanas, las fisuras debidas al asentamiento del terreno señalan preferentemente los antepechos de las aberturas de los tramos de pared con las zonas asentadas.

La figura muestra el detalle de los esquemas de isostáticas de compresión conformados en los lienzos de pared. En función de la relación altura-anchura, las fisuras aparecerán prioritariamente a los extremos o en la parte central. Hay que mencionar el hecho de que las esquinas de las aberturas, y en general todos los vértices presentes en las paredes, son puntos de concentración de tensiones, en que se supera con creces las que les correspondería aplicando el modelo elástico. En la práctica, esto se traduce en una mayor propensión a la formación de fisuras coincidiendo justamente con estos puntos.

1.4.2. Deslizamientos

Los deslizamientos del terreno originan en las paredes solicitaciones con componente horizontal que descomprimen de abajo hacia arriba los elementos. Donde el cuadro de isostáticas de compresión resultante de esta situación se manifiesta en secciones de fractura.

1.5. *Efectos de la torsión*

1.5.1. La torsión como efecto adicional

Las fisuras debidas a la torsión se distinguen normalmente por el cambio de plano verificable en el perfil de los labios de las fisuras y por el sentido inclinado en relación al eje de la solicitación. De todos modos, resulta difícil descubrir casos en que el origen de la solicitación se encuentre en el mismo plano de la pared. Normalmente, los efectos de la torsión se manifiestan en zonas del edificio afectadas por un movimiento vertical u horizontal, que se superponen y modifican los esquemas planimétricos de isostáticas deducidos de los modelos elásticos bidimensionales. A modo de ejemplo, debe interpretarse que la fisuración de la pared más alejada de la zona más asentada es debida a los efectos de la torsión.

1.6. *Cuadro general resumen de patologías de grietas y fisuras*

Tabla 1.1. Cuadro general de patología de grietas y fisuras

CAUSAS	EFECTOS	REPARACIÓN		PREVENCIÓN
		CAUSA	EFECTO	
ESFUEZOS MECÁNICOS				
Asientos	• Arco de descarga • Grieta vertical baja • Grietas a 45º	Recalce	Demoler y rehacer total o parcialmente la zona afectada	• Resistencia del suelo • Expansividad • Cimentación suficiente
Flecha excesiva de la estructura de soporte	• Arco de descarga • Grieta horizontal baja	Refuerzo de momento positivo	• Demoler y rehacer • Trasdosar	• Limitación flecha absoluta • Mortero de agarre plástico
Flecha excesiva de la estructura superior (empuje)	• Grieta vertical en V invertida • Aplastamiento • Grieta horizontal intermedia por pandeo	Refuerzo de momento positivo	• Demoler y rehacer • Trasdosar	• Tendel superior más blando • Limitación flecha absoluta
Empujes horizontales, forjados y pilares (pandeo)	Grietas horizontales o verticales según elemento	Independizar de la estructura	• Demoler y rehacer total o parcialmente • Marcar junta de retracción permanente	
Movimiento del propio elemento (descuelgue, giro)	Grietas horizontales (plano)	Anclaje desde el exterior	En grieta vertical, demoler y rehacer parcialmente	Anclaje con holgura

ESFUERZOS HIGROTÉRMICOS				
Dilatación térmica del propio elemento	Grietas verticales	Protección solar, si cabe	Demoler parcialmente y rehacer dejando junta de retracción	Prever de retracción según material, orientación y clima
Cambios de humedad por capilaridad (arranques)	Grietas «en mapa»	Barreras impermeables anticapilaridad	Repaso superficial	Barrera impermeable anticapilaridad
Cambios de humedad por filtración (cornisas y petos)	Grietas «en mapa» y verticales	• Albardilla • Sellado exterior • Canalización	Repaso superficial	• Albardilla impermeable • Sellado superior exterior • Canalones y sumideros
DEFICIENCIAS DEL PROYECTO				
Discontinuidad del soporte	Grieta o fisura en la unión	• Manifestar la junta		• Manifestar la junta • Anular la discontinuidad
Falta de juntas de retracción	Grietas verticales	Rehacer parcialmente y manifestar las juntas de retracción		• Prever juntas de retracción
Tabiques débiles en grandes luces	Grietas verticales o arcos de descarga	Reforzar momento positivo	Demoler y rehacer tabique (más resistencia)	• Limitación de flecha absoluta • Resistencia de tab. según uso • Arranque tab. en correa
Falta de zunchos en voladizos	Grietas y fisuras según viguetas	Introducir zuncho	Repaso superficial	Prever zuncho
DEFICIENCIAS CONSTRUCTIVAS				
Armaduras de hormigón muy superficiales	Fisuras según armaduras	• Picar, sanear, proteger juntas, recubrir con mortero de resina • Demoler y rehacer		Recubrimiento adecuado
Elemento defectuoso: • Poco resistente • Mortero muy rico • Pelos de cantera	Grietas y fisuras, en general	• Sustitución del elemento • Proteger morteros afogarados, si bien adheridos		• Calidad según función • Morteros plásticos en revoco • Pintura de poro abierto • Curado adecuado
Ejecución defectuosa	Grietas y fisuras, en general	• Demoler y rehacer total o parcialmente		Correcta ejecución: • Humectación adecuada • Morteros plásticos • Humedad de soporte

Tabla según: Monjó Carrión, Juan J. y Luis Maldonado Ramos. 2005.

2. Posibles disfunciones estructurales en estructuras abovedadas. Sintomatología

2.1. *Daños por tensiones mecánicas*

En las fábricas de sillería fundamentalmente, como consecuencia de los esfuerzos mecánicos -de compresión, tracción, etc.- a los que estén sometidos. Los sillares pueden fisurarse o agrietarse como consecuencia de las tensiones que soportan. Por ejemplo cuando las caras de un sillar no presentan un plano homogéneo en su contacto con las de los sillares situados arriba o abajo, se puede producir concentración de tensiones en zonas puntuales que fisuran o agrietan las piezas. También por sobrecargas externas, etc.

Estos estados de fisuración y agrietamiento en las fábricas favorece la penetración de agentes de alteración como el agua, las sales solubles, etc.

2.2. *Fisuras, grietas y deformaciones*

Se exponen a continuación los procesos patológicos: lesiones, daños, alteraciones, síntomas de su posible existencia así como las formas de manifestación; los factores causantes de los mismos o el análisis de sus posibles causas y los mecanismos de deterioro.

Si existen fisuras y grietas en paramentos y en elementos constructivos, se indicará su espesor, morfología, emplazamiento, trayectoria, época de aparición y si se detectan indicios de su actividad. Deformaciones: flechas, pandeos, alabeos y desplomes de elementos constructivos. Desprendimientos: de enfoscados, revocos, etc.

Es frecuente en los edificios históricos la manifestación de fisuras y grietas en arcos, bóvedas y cúpulas como consecuencia de los giros y desplomes que experimentan los muros, pilastras y columnas donde gravitan aquellos, debidos a los empujes que les transmiten. También son frecuentes los giros y desplomes de muros y pórticos por empujes de los pares de las cubiertas inclinadas. Si queremos realizar correctamente el estudio de estas deformaciones, es necesario que la toma de datos aporte los datos necesarios para definir su morfología y su configuración presente.

2.2.1. Manifestación de fisuras grietas en estructuras abovedadas

En general, las grietas presentan unas directrices habituales en las iglesias góticas como consecuencia de los desplazamientos relativos de los apoyos.

- Grietas que, en el cañón principal de la bóveda en la zona de la línea de la clave, atraviesan los arcos perpiaños y cruceras.
- Grietas paralelas a los arcos formeros, pero a cierta distancia de ellas.
- Como se verá, estas grietas suponen una separación completa de la plementería, de modo que, caminando por encima de la bóveda, se puede ver el pavimento de la iglesia situada por debajo.
- Grietas de separación entre la plementería y los muros laterales.

Los tres tipos de grietas descritos tienen su causa en los empujes que trasmiten las bóvedas a los elementos de contrarresto: muros y estribos o contrafuertes.

Además de los daños descritos, los pilares o columnas suelen experimentar importantes desplomes de varios centímetros, que se deben comprobar según medición in-situ, así como comprobar la existencia y/o evolución de asientos diferenciales del plano de apoyo de las cimentaciones.

2.2.2. Análisis de las posibles causas

Del terreno:

Según la caracterización geotécnica del terreno a realizar, el perfil estratigráfico determinará los diferentes niveles: un probable primer nivel de rellenos antrópicos, a continuación la posibilidad de hallar arenas y limos aluviales y finalmente, a profundidades mayores, quizá un sustrato sano. El estudio debe indicarnos si las cimentaciones apoyan en los rellenos o en el sustrato sano.

Asimismo, debido a la naturaleza del suelo y la ubicación de la cimentación, los asientos experimentables por el plano de apoyo de las cimentaciones pueden tener su causa tanto en la presencia de los rellenos antrópicos susceptibles de colapsar, como de los suelos aluviales finos (limos y arenas) por su erosionabilidad y solubilidad parcial que posibilita la formación de cavidades.

Estructurales:

Por otra parte, los contrafuertes ubicados normalmente en los extremos de los pórticos transversales (constituidos por las columnas o pilastras y los arcos perpiaños) pueden carecer de la altura necesaria para cumplir con su función estructural: absorber los empujes de los arcos y bóvedas. Tal situación hace que al no quedar contrarrestados totalmente los empujes horizontales que inducen los arcos, se produce el desplome de los muros perimetrales y de los contrafuertes.

En los pórticos transversales a la nave puede existir otro problema estructural importante, que es el siguiente: Los arcos perpiaños del pórtico de la nave central no son de iguales dimensiones y los arcos de las naves laterales arrancan a la misma altura que los centrales a pesar de ser de menor luz, de este modo los empujes sobre

los capiteles de las columnas del arco de la nave central no quedan contrarrestados por los empujes de los arcos de las naves laterales. Esta circunstancia provoca una resultante horizontal hacia los arcos más pequeños que ocasionan su deformación y el consiguiente desplome de las columnas intermedias hacia las naves laterales.

Es un hecho que en la arquitectura gótica es corriente que los arces de las naves laterales, -más pequeños- tuvieran un arranque por debajo de los arcos de las naves central es, para poder absorber el empuje de éstos mediante mures y arbotantes por encima de aquellos.

Sobre los pórticos transversales citados, para soportar los faldones de la cubierta apoyan muros sobrepuestos a los arcos perpiaños o fajones. Como consecuencia de las deformaciones sufridas por los arcos y, además, por el empuje de los faldones de la cubierta estos pueden presentar un estado de total agrietamiento.

2.2.3. Diagnóstico de los daños (ver temario cimentaciones)

Teniendo en cuenta la naturaleza del suelo y las características de la cimentación, los asientos diferenciales del plano de apoyo de las cimentaciones pueden comenzar a producirse a los pocos años de la construcción.

Los movimientos diferenciales que puedan experimentar las columnas, como consecuencia de asientos, más los debidos a eventuales empujes horizontales no contrarrestados por los arcos, pueden causar deformaciones de tal magnitud que ha den origen a lo largo de los siglos a un estado final del agrietamiento y ruina.

2.3. *Seguimiento de daños y movimientos (ver apartado 3)*

Se debe realizar el control de la evolución de los movimientos de apertura y cierre de fisuras y grietas en plementerías, arcos etc., durante un periodo de siete meses mediante la colocación de comparadores mecánicos en el trasdós de las plementerías.

Como complemento de las medidas anteriores se deben colocar testigos de yeso.

Las lecturas registradas de los comparadores mecánicos indicarán que los movimientos detectados están relacionados con una época estacional, ya que únicamente oscilan en dependencia de las condiciones térmicas, o con una época evolutiva en cuanto a los movimientos estructurales por un ensanchamiento considerable de las mismas.

El control periódico durante siete meses de los movimientos relativos entre arcos y bóvedas se debe realizar colocando puntos de referencia fijos en los capiteles de las columnas. El seguimiento se debe efectuar con topografía de precisión.

El resultado de seguimiento puede resultar que durante el periodo de control no se produzcan desplazamientos de los capiteles de las columnas y por tanto de los arranques de los arcos.

El control de los asientos diferenciales de las columnas se debe realizar también con topografía de precisión (nivelación) y durante el mismo periodo que en los casos anteriores. Los puntos de medida se deben fijar mediante clavos en la base de las columnas y el punto de referencia se debe colocar fijo en el exterior de la iglesia, donde no esté sometido a los movimientos de la misma.

El resultado del seguimiento puede indicar que las magnitudes registradas sean relevantes o irrelevantes.

El control de las condiciones ambientales interiores (temperatura ambiental y humedad relativa) se debe realizar mediante termohidrógrafos que registran valores en intervalos semanales, y que queden situados en varios puntos del interior.

El registro de los valores de temperaturas y humedades relativas se debe realizar estando el templo/edificio en sus condiciones habituales y con los espacios interiores comunicados con el espacio exterior a través de huecos siempre abiertos.

En tal situación, las condiciones climáticas de los espacios interiores son directamente dependientes de las exteriores.

Dada la gran inercia térmica de la mayoría de edificios existentes, los contenidos de agua en el aire ambiente interior suelen ser ligeramente superiores a los del exterior, lo que significa que se produce una emisión de humedad que es consecuencia de la evaporación de las superficies húmedas. Los muros suelen presentar importantes humedades por capilaridad.

Como con las condiciones de ventilación que se suelen dar en el ambiente interior no se suele conseguir rebajar el contenido de humedad de los muros, la situación es la de un equilibrio precario entre las fuerzas que condicionan la acción capilar, (gravedad y evaporación) conseguido a costa de una gran altura de las superficies saturadas de agua.

2.4. *Análisis estructural*

La estabilidad de una estructura de arcos y bóvedas, si las patologías se encuentran estables puede ser aceptable considerando que los elementos constructivos soportan las tensiones debidas a los esfuerzos de compresión. Aquellos que a lo largo de la historia han evolucionado en forma de esfuerzos de tracción, en algunos puntos pueden originar roturas en forma de grietas aunque a priori no suponga peligro de colapso. Todo ello determinado por la toma de datos realizada a través de la instrumentalización a emplear para la pertinente comprobación.

Los factores decisivos en la situación estructural suelen ser:

1. La existencia en un mismo pórtico o arquería, de arcos de distintas dimensiones donde en un mismo capitel coinciden al mismo nivel, empujes horizontales opuestos y de distinta magnitud que dan lugar a los desplomes de las columnas.
2. El apoyo de las pilastras con la carga de cubierta, sobre las claves de los arcos y bóvedas.
3. La escasa altura y volumen de los contrafuertes.
4. Los asientos del plano de apoyo de las cimentaciones a lo largo del tiempo, e intervenciones históricas de recalce que puedan producir discontinuidades o diferencias de sustentación geotécnica que finalmente redunden en producir asientos relativos que incrementen empujes y desplomes.

2.5. *Intervenciones a realizar (ver tema de cimentaciones y apartado 5 del presente tema)*

Ante la magnitud de los daños se debe proceder con cierto carácter de apremio a realizar una consolidación/estabilización parcial, en concreto los muros, columnas, bóvedas y cubierta.

- Apeo de los arcos perpiaños y de los formeros así como de los capiteles de las columnas que presenten desplomes mediante muros de fábrica de ladrillo de gran espesor.
- Recalce de los muros y columnas por medio de un sistema que permita llegar al substrato del terreno resistente, por ejemplo micropilotes.
- Restitución de columnas dañadas y/o aplomo de las mismas.
- Atirantado de los muros sobre los pórticos transversales mediante tirantes metálicos postensados para introducir una tensión de compresión inferior a los kp/cm^2, máximos que se considere para la fábrica que componga el muro en su propio plano.
- Reparación de las bóvedas de crucería mediante el cosido de las grietas y eventual encamisado de las bóvedas en su trasdós colocando mallas de fibras de poliéster y un trasdosado de las plementerías con una camisa de mortero de yeso armado con mallas de poliéster con un espesor de 5 cm.
- Solidarización de los muros mediante elementos de reparto y unión en la coronación de los muros.
- Reparación y eventual sustitución de algunos elementos de la estructura de cubierta de madera con nuevos elementos de reparto de cargas allí donde estas fueran puntuales.
- Aumento de altura y de masa de los contrafuertes laterales para mejorar la estabilidad del conjunto. Recrecido de los contrafuertes en su perímetro con fábrica de similares características a la existente y anclada a la fábrica existente mediante varillas roscadas de acero.
- Control de la humedad de los muros (ver temario humedades).

3. Metodología para el reconocimiento de la estructura de carga

3.1. *Introducción*

Todo estudio de un sistema estructural de paredes de carga de un edificio

requiere la determinación de tres factores fundamentales: la seguridad que presenta respecto a las cargas gravitatorias que inciden, la vulnerabilidad o estabilidad frente a las empujes horizontales y grandes solicitaciones que en un momento dado puedan afectar y, en términos de durabilidad, la previsión de la capacidad de continuar manteniendo estas prestaciones en el tiempo.

Se trata de una tarea difícil. Es necesario determinar todos y cada uno de los parámetros que tienen una relación directa, o la pueden tener, con el comportamiento actual y futuro de un sistema complejo que, al margen de su posible problemática intrínseca, generalmente nos muestra también los efectos del comportamiento del terreno, los cimientos o de la estructura horizontal.

Con el objetivo de ordenar esta tarea, se propone una metodología genérica, en la que se presentan las diferentes fases del proceso de diagnosis que, como es habitual en este tipo de trabajo, son tres:

1. Pre-diagnosis o primer reconocimiento del edificio para observar las características físicas y constructivas, y para localizar síntomas y lesiones que puedan aconsejar de estudiarlo más a fondo.
2. Estudios previos o profundización en el conocimiento de la estructura y de las paredes, en cuanto a las dimensiones, sistema constructivo, capacidad portante de los componentes y otros parámetros que influyen en su comportamiento estructural y su vulnerabilidad y durabilidad.
3. Diagnóstico o análisis de la información recogida y conclusión, en cuanto a la seguridad actual del sistema estructurado, la vulnerabilidad a esfuerzos horizontales o grandes solicitaciones si las expectativas razonables de durabilidad en el tiempo.

La metodología que se sintetiza en el esquema adjunto quiere ser, fundamentalmente, una herramienta de reflexión y de guía en el proceso de diagnóstico del sistema estructural de paredes de carga de cualquier edificio, por lo que en su elaboración, hemos considerado un amplio abanico de campos de trabajo a estudiar.

Esta metodología, como genérica que es, debe ser adaptada y dimensionada en función de las circunstancias de cada caso concreto, según las características particular si la experiencia del técnico que deba aplicar.

3.2. *Prediagnosis*

En todo proceso de diagnosis, el primer paso es hacer un reconocimiento rápido del sistema estructural del edificio.

En esta visita hay que determinar las características constructivas de los distintos componentes, localizar los síntomas y las lesiones, y establecer una primera hipótesis de esquema de descenso de cargas que nos permita situar las zonas sometidas a tensiones mayores.

La información de esta fase la recogeremos mediante una inspección visual, si bien, en los casos en que sea necesario ampliarla en aspectos específicos, se harán calas.

Las características de este tipo de trabajo parcial (dentro de todo un proceso de diagnóstico), o completo (si concluimos que no es necesario continuar con el diagnóstico), son muy parecidas a las de un informe-dictamen convencional y en general puede incluir los siguientes apartados:

1. *Objetivos*

Exposición de los motivos que han determinado la realización del trabajo y la finalidad que tiene.

2. *Antecedentes*

Comentarios sobre la información facilitada por el solicitante en el momento de iniciar el trabajo, tanto la información gráfica, escrita o documental, como las explicaciones verbales referentes al objeto de estudio.

3. *Inspecciones realizadas*

En algunos casos, puede resultar interesante hacer una breve relación de las visitas de inspección realizadas, indicando las condiciones en que se han realizado y la información que han facilitado los ocupantes.

4. *Descripción y localización*

Explicación, a grandes rasgos, de la historia y la evolución del edificio en el tiempo, de su entorno y de sus características tipológicas.

5. *Características constructivas*

Descripción ordenada de los diferentes elementos, materiales y técnicas constructivas utilizados en las paredes, que se hayan podido localizar.

Complementariamente, se caracterizarán los elementos directamente relacionados con estas, como los fundamentos y los techo s, y los que influyen directamente en su estado, como cubiertas, bajantes e instalaciones.

En este apartado, hay que dar siempre una visión genérica del edificio que facilite la comprensión del elemento en estudio y de todos los factores que influyen.

6. *Sintomatología y lesiones*

Como complemento del apartado anterior, es el describir aquí los

síntomas y las lesiones observadas en los diferentes componentes, indicando su localización y las circunstancias que los rodean.

7. *Análisis, cálculos y valoración del estado*

Una vez recogida la información comentada, hay que analizarla detalladamente y hacer los cálculos que se consideren necesarios en base a los parámetros obtenidos. Los resultados del análisis y los cálculos, nos permitirán plantear las primeras hipótesis sobre las causas de las lesiones y establecer valoraciones respecto a la situación de los diferentes componentes.

8. *Conclusiones y recomendaciones*

Para terminar el documento, habrá que hacer una síntesis de los aspectos que se consideren más importantes en relación con el estado del sistema estructural de paredes de carga y con la gravedad de los defectos y las lesiones observados. También habrá que dar, en su caso, recomendaciones respecto a las medidas preventivas, actuaciones de urgencia o conveniencia de hacer una diagnosis completa.

Anexos

A menudo, la realización de esta tarea nos permite el acceso a documentos de interés y conlleva la necesidad de realizar algunos trabajos complementarios.

Adjuntar estos documentos o un extracto de estos puede ser interesante para complementar la prediagnosis.

3.2.1. Inspección de las paredes

El sistema estructural de paredes es el objetivo de nuestro trabajo y, por tanto, dedicaremos mucha atención a estos componentes del edificio. Sin embargo, habrá que tener presentes los fundamentos y los techos, ya que su comportamiento puede tener unos efectos directos sobre las paredes.

La información que puede resultar útil recoger en esta fase es muy diversa. A los efectos de disponer de una guía genérica, mencionamos los siguientes aspectos:

1. *Geometría del sistema (planos o croquis)*

- Plantas de los diferentes niveles significativos
- Alzados principales
- Secciones
- Detalles de elementos importantes

2. *Características constructivas*

- Materiales
  Piedra
  Tapia
  Ladrillo
  Bloque de hormigón
  Mortero de cal
  Mortero de cemento

- Técnicas
  Tipo de pared
  Traba interna
  Paredes de arriostramiento
  Zunchados

- Aperturas
  Dinteles
  Arcos
  Jambas

3. *Localización de síntomas y lesiones*

- Desplomes
- Bombeos
- Deformaciones
- Desniveles
- Desplazamientos
- Grietas y fisuras
- Humedades
- Materiales degradados

4. *Comportamiento estructura del*

- Estado de cargas
- Esquema de descenso de cargas
- Zonas más degradadas

- Zonas con tensiones máximas
- Excentricidades
- Esbeltez
- Rigidez
- Modificaciones

En la evaluación de daños y estimación de la seguridad, los parámetros que utiliza son muy simples, define las características constructivas y establece un nivel de daños variable. La estimación del índice de vulnerabilidad alcanza mayor complejidad con la recogida de información relativa a los parámetros que a continuación se presentan y que son puntuados en función de una clasificación A, B o C.

1. Organización de la estructura vertical, con el objetivo de evaluar el grado de trabada transversal de que disponen las paredes, utilizando como datos cuantificables:

Tablas 3.1. *Inspección de estructuras de carga*

	A	**B**	**C**
Distancia máxima entre paredes	d<6	d<8	d>8
Altura libre entre plantas	h<3,5	h<4,5	h>4,5
Calidad de las uniones entre paredes	edificio con bóveda o arco	paredes ortogonales unidas	paredes ortogonales no unidas

2. Tipología de la estructura horizontal, con el objetivo de evaluar el grado de arriostramiento entre las paredes y los techos.

3. Tipología de cubierta, con el objetivo de evaluar el efecto desfavorable que pueden producir los diferentes tipos.

A	**B**	**C**
techos de hormigón en arco	techos de hierro	techos de madera y bóvedas

4. Resistencia a la acción sísmica, como fórmula establecida que permite obtener un índice convencional que relaciona la superficie de las paredes ortogonales del edificio, con el número de plantas y con las características constructivas.

A	B	C
α > 20K	α > 10K	α < 10K

K es una constante en función de las características de la pared:

K = 1	Paredes de ladrillo y mortero de cemento
K = 2	Paredes de piedra o ladrillo con mortero de cal
K = 4	Paredes de piedra irregular o piedra en seco

5. Características constructivas de la estructura vertical, con el objetivo de evaluar su calidad.

A	B	C
paredes de ladrillo y mortero de cemento	pared de piedras regulares y de ladrillos con mortero de cal	paredes de piedra irregular o piedra en seco

6. Compactación de la planta, con el objetivo de evaluar la influencia de la forma de la planta en el comportamiento sísmico.

A	B	C
L_{max}/L_{min}<1,5	L_{max}/L_{min}<2,5	L_{max}/L_{min}>2,5

7. Esbeltez del edificio, con la objetividad uno de evaluar la influencia de este parámetro en el comportamiento sísmico.

A	B	C
H_{max}/b_{min}<1,5	H_{max}/b_{min}<3	H_{max}/b_{min}>3

8. Morfología superficial del terreno con el objetivo de evaluar la incidencia por sus características.

A	B	C
terreno estable y pendiente <15 %	terreno suelto y pendiente <25 % o terreno estable y pendiente <50 %	terreno suelto y pendiente >25 % o terreno estable y pendiente >50 %

9. Estado actual, con la objetividad uno de evaluar su influencia en el comportamiento sísmico.

A	B	C
Paredes en buen estado, daños sísmicos irrelevantes	Paredes en estado medio, daños sísmicos leves o notables	Paredes en muy mal estado, daños sísmicos graves

Tablas según: Cecchini, Cecilia. 1999.

La recogida de la información necesaria para rellenar la ficha, como se puede ver, resulta bastante sencilla. Lo que realmente tiene un valor importante es la puntuación que se da a cada uno de los diferentes parámetros y que nos permite entrar a fondo en el análisis del edificio y de sus componentes.

La extrapolación de esta ficha no se puede hacer nunca directamente a otras zonas, y siempre requerirá otro estudio que permita adoptar los diferentes valores a las características del lugar concreto donde queremos aplicar.

3.3. *Estudios previos*

En esta fase, ampliamos la información conseguida en la prediagnosis y en recogemos nueva, con la diferencia fundamental de la realización de calas sistematizadas y la ayuda de los ensayos realizados por un laboratorio especializado.

Ordenando las tareas, en primer lugar buscaremos la información que nos debe permitir obtener un conocimiento del sistema estructural en los siguientes aspectos:

1. Geometría del edificio y de sus componentes
2. tipología estructural
3. Características constructivas de las paredes
4. Estado de cargas de las diferentes p artes del edificio
5. Síntomas, lesiones y se estado de conservación

Toda esta información, la conseguiremos mediante la realización de un buen levantamiento gráfico y ¡análisis constructiva y estructural del edificio, complementada con las pruebas in situ y en laboratorio, que se consideren necesarias para alcanzar el grado de conocimiento deseado. Ir avanzando en este proceso nos permitirá la formación de grupos homogéneos de paredes basados en sus características fundamentales y su estado de conservación. Siempre es importante que la recogida de información y su análisis posterior se hagan de una manera clara y organizada metodológicamente.

Una vez disponemos de los grupos homogéneos o unidades de actuación se establecerán los diferentes lotes o unidades de decisión, como partes de cada grupo

homogéneo, para su estudio pormenorizado. De acuerdo con las características del edificio y sus dimensiones, las unidades de actuación y las de decisión a estudiar serán más o menos numerosas. En algunos casos, pueden quedar reducidas a un solo paquete que tenga en cuenta la totalidad del edificio.

Para cada lote, o por cada unidad de actuación en su caso, se harán las prospecciones y determinaciones necesarias para dar respuesta a las siguientes cuestiones:

1. Es capaz de soportar las cargas gravitatorias actuales con la seguridad exigible?
2. Es capaz de soportar, el sistema en su conjunto, los esfuerzos horizontales previsibles?
3. Es capaz de seguir cumpliendo los dos parámetros anteriores durante un tiempo razonable?

Dar respuesta a estas preguntas requiere datos más o menos exhaustivos de las características constructivas, de comprobación del estado, de determinación de las causas de las lesiones o de estimación de las posibilidades de incrementar las solicitaciones.

En la primera pregunta, le daremos respuesta en términos de seguridad estructural, a la segunda, en términos de estabilidad o vulnerabilidad al seísmo ya grandes solicitaciones, ya la tercera, en términos de durabilidad de los componentes.

Es importante destacar que la presente metodología se dirige estrictamente a la diagnosis del sistema de paredes y deja de lado otros componentes fundamentales del edificio que tienen una relación directa, como los cimientos o la estructura horizontal.

3.3.1. Levantamiento gráfico y conocimiento de los componentes

Conocer bien las dimensiones, las características y la situación de todos y cada uno de los componentes de un edificio, es imprescindible para poder afrontar su diagnóstico con seguridad. Esta información debe quedar perfectamente identificada en una representación gráfica del edificio y de sus componentes.

Obtener los datos necesarios no presenta dificultades excesivas, dado que los puestos a medir, generalmente, presentan una buena accesibilidad y, por otro lado, disponemos de aparatos y técnicas auxiliares que nos pueden dar la precisión que deseamos y nos facilitan la tarea.

Si al iniciar el levantamiento disponemos de planos originales o de levantamientos anteriores, pueden ser una buena base de partida, pero siempre habrá que hacer una comprobación cuidadosa antes de considerarlos válidos para nuestro trabajo. Los croquis realizados en la prediagnosis siempre resultarán de mucha utilidad en esta fase.

El objetivo de este levantamiento es su utilización en la comprobación de la seguridad, en la valoración de la vulnerabilidad del edificio y en la definición de las intervenciones a realizar. Habrá que tener especial cuidado en la observación de variaciones dimensionales en distintos niveles, a la hora de comprobar la continuidad vertical en las diferentes plantas, localizar las modificaciones que se hayan hecho a lo largo del tiempo como reformas, refuerzo o reparación, y medir y representar los defectos visibles, por ejemplo: desplomes, deformaciones, movimientos, bombeos, grietas y otros.

La representación gráfica se plasmarla en planos de planta de los diferentes niveles, en alzados exteriores e interiores, en secciones y en detalles de las zonas que, siendo especialmente significativas, no queden suficientemente explicitadas en los planos anteriores. La escala más habitual será la 1:50 o 1:100, en los planos generales, y otros más grandes adecuadas a los detalles concretos.

En función del grado de precisión deseado en cada elemento, decidiremos la escala de representación, que puede oscilar entre los 5 cm de los planos a escala 1:100 hasta las apreciaciones de milímetros en escalas por debajo de 1: 10.

La precisión deseada también condicionará el sistema de realizar el levantamiento, que, simplificando, podemos clasificar en tres posibles acciones:

- Levantamiento manual, que es el más simple. En las mediciones utilizan herramientas sencillas, como: metro y cinta convencional, metro por ultrasonidos, metro telescópico, nivel, plomo, fisurómetro, etc. La precisión de este sistema aumenta con el apoyo de la triangulación o de ejes de referencia, horizontales y verticales.
- Levantamiento topográfico, que utiliza herramientas más sofisticadas que el anterior, tales como: niveles láser u ópticos, taquímetro, teodolito, clinómetro, etc.
- Levantamiento fotogramétrico, que se basa en las herramientas de la fotogrametría, como: las cámaras métricas y semimétricos. Eres restituidores o las tablas digitalizadoras.

El sistema más habitual es el primero, a menudo complementado con el segundo, si bien, cada día más, se están introduciendo los sistemas fotogramétricos en los levantamientos de precisión de fachadas de edificios existentes, especialmente en las de tipo monumental.

A la hora de decidirse por uno o por otro, también hay que tener presentes otros factores, tales como: la accesibilidad de las zonas a medir con la consecuente necesidad de andamios u otros sistemas auxiliares, la rapidez que permite en su ejecución, y la facilidad de utilización de sistemas informáticos imprescindibles para simplificar posteriores elaboraciones (Tabla 3.2).

Un aspecto fundamento al que da validez y utilidad al levantamiento gráfico es la simbología de representación, que además de permitir una lectura precisa de la

geometría, debe permite re identificar con facilidad las características constructivas de cada elemento, las diferentes lesiones y su estado.

En este sentido, no existe una normativa que unifique y fije la simbología a utilizar en el levantamiento gráfico de edificios existentes. Algunos ejemplos interesantes de simbología utilizada en la representación gráfica de trabajos de diagnosis son los que presentamos en los gráficos adjuntos.

En los trabajos de levantamiento gráfico, la fotografía y la grabación en vídeo también son muy útiles, en dos vertientes: como auxiliar, en la recogida de la información que luego se plasmará en los planos o como documento, en sí mismo, que muestra unas imágenes reales de los elementos en cuanto a sus características precisas.

Tabla 3.2. *Herramientas para el levantamiento*

	Levantamiento manual	**Levantamiento topográfico**	**Levantamiento fotogramétrico**
Herramientas de medición	Metro convencional Metro sónico Metro telescópico Nivel manual Plomo Fisurómetro	Taquímetro Teodolito Nivel óptico Nivel láser Cinómetro	Cámara métrica Cámara semimétrica Sistema informático Restituidor
Coste herramientas	Bajo	Medio	Alto
Sistema medida	Punto por punto	Punto por punto (sin contacto)	Por puntos o líneas (sin contacto)
Necesidad andamios	Sí	Puntualmente	Puntualmente
Duración trabajos	Larga	Media	Corta
Formación operario	Poca	Media	Alta
Error acumulativo	Posible	Controlado	No
Precisión resultado	Baja	Media	Alta

Tabla según: Cecchini, Cecilia. 1999.

3.3.2. Análisis constructivo y estructural

Los factores imprescindibles para poder realizar el diagnóstico del sistema estructural de paredes de un edificio es el conocimiento de las características de los materiales que lo conforman, las técnicas constructivas utilizadas, las cargas o solicitaciones que inciden en los diferentes puntos y las tensiones a que están sometidos como consecuencia de las mismas.

La calidad de la ejecución de las paredes puede resultar también un factor significativo de cara a su comportamiento y hay que comprobar la colocación de las piezas y su traba, el relleno de las juntas con mortero, etc.

El levantamiento gráfico comentado permitirá familiarizarnos con los rasgos fundamentales del sistema constructivo y estructural, y nos servirá de guía en la realización de esta fase del trabajo.

3.3.2.1. Formación de grupos homogéneos y determinación de zonas de riesgo potencial

Dado que no es posible averiguar las características (constructivas, resistentes, etc.) de todos y cada uno de los elementos de la estructura de un edificio, resulta imprescindible aproximarse a este conocimiento a partir de agrupar el conjunto de paredes en paquetes más reducidos que presenten por sí mismos una homogeneidad constatada.

Lógicamente, no podrán pertenecer al mismo grupo paredes de obra maciza paredes de piedra, por ejemplo. También parece conveniente analizar separadamente paredes fuertemente cargadas y paredes menos cargadas.

Así, podemos considerar dos hipótesis: por un lado, aquellos parámetros vinculados a la «fabricación», la de los materiales y la propia de la ejecución de la obra, por otro, el estado de las tensiones y las lesiones existentes.

Las cuestiones relacionadas con la fabricación nos permitirán determinar grupos homogéneos.

Las cuestiones relacionadas con el uso (tensiones y lesiones) nos permitirán fijar las zonas de riesgo potencial.

A partir de estas agrupaciones podremos plantear selectivamente las pruebas necesarias para determinar las características mecánicas de forma cuantitativa, y extrapolar los resultados obtenidos al conjunto de la población de la que son representativas.

Obtener la información para establecer estos grupos puede resultar una tarea compleja, ya que muchos datos que necesitamos no son observables directamente y requieren la realización de catas que nos permitan ver partes ocultas, la utilización de endoscopios y, a menudo, se hace imprescindible basarse en pruebas in situ o en la extracción de muestras para hacer pruebas en el laboratorio.

A continuación, se exponen algunos criterios y algunas herramientas para determinar grupos homogéneos y obtener parámetros cualitativos (Tabla 3.3).

Tabla 3.3. *Agrupación de unidades constructivas y patológicas.*

OBJETO	RESULTADO BUSCADO	TÉCNICA A UTILIZAR
Homogeneidad de los ladrillos	tipo geometría, aspecto, etc.	inspección visual
	parámetros comparativos respecto a los componentes	microscopia DRX, ATD análisis químico tradicional
	parámetros comparativos respecto a los componentes	determinación del índice de rebote densidad y porosidad resistencias mecánicas (comp., flex.) ultrasonidos ensayos de penetración
Homogeneidad del mortero	aspecto (color, textura, etc.)	inspección visual
	parámetros comparativos respecto a los componentes	microscopia ataque CIH + DRX análisis químico tradicional ATD
	parámetros comparativos respecto a los componentes	determinación del índice de rebote ultrasonidos ensayos de penetración
Homogeneidad de la obra	juntas (porcentaje de relleno, espesores, homogeneidad) hiladas (constancia geométrica) trabadas	inspección visual
	parámetros comparativos respecto a la respuesta a una excitación	auscultación dinámica ultrasonidos
Puntos singulares	conducciones y regatas ocultas	detector de instalaciones
	cambios locales a	termografía humedades
Fisuras y grietas	medida del ancho	medidor de fisuras (galgas) lupas graduadas, cuentahílos
	medida del desplazamiento	extensómetros eléctricos pie de rey comparadores fisurómetros (papel, plástico) testigo de yeso
Lesiones internas	cavidades internas, profundidades de las lesiones, etc.	auscultación dinámica ultrasonidos endoscopia

Tabla según: Cecchini, Cecilia. 1999.

3.3.2.1.1. Ladrillos, bloques, piedras, etc.

La herramienta más sencilla para determinar la homogeneidad entre ladrillos, bloques, etc., es la vista. Especialmente eficaz si se trata de un ojo entrenado.

Lijando el posible revestimiento podemos apreciar el aspecto, el color, las dimensiones, la textura, etc.

En casos en que sea necesario salir de dudas respecto a la inspección visual, se puede recurrir a determinar unos parámetros comparativos con respecto a los componentes. Las técnicas instrumentales pueden ser (Tabla 3.4):

Tabla 3.4. *Técnicas para determinar la homogeneidad.*

in situ	Determinación del índice de rebote (es muy sencillo y se puede sistematizar) Ensayos de penetración con aguja o con taladro Determinación de velocidad de paso de ultrasonidos
a partir de una pequeña muestra, en laboratorio	Lupa binocular y microscopia de lámina delgada Determinación cualitativa de componentes cristalinos a partir de la difracción de rayos X (DRX) Análisis térmico diferencial (ATD) Análisis químico tradicional para determinar los óxidos mayoritarios Determinación de las densidades y la porosidad
a partir de la extracción de muestras enteras o de testigos	Determinación de resistencias mecánicas

Tabla según: Cecchini, Cecilia. 1999.

3.3.2.1.2. Mortero de juntas

En el caso del mortero de las juntas la inspección visual también es la mejor herramienta.

Es recomendable ayudarse de una navaja o de un taladro por valorar cualitativamente el grado de cohesión del mortero.

En casos de duda o necesidad de más información, se puede recurrir a la utilización de las mismas técnicas descritas anteriormente, si bien el grueso reducido de la junta imposibilita la extracción de muestras suficientemente grandes para determinar resistencias mecánicas o porosidades y densidades.

No es aconsejable averiguar las características mecánicas del mortero a partir de intentar reproducirlo en el laboratorio, una vez conocidos sus componentes. La cantidad de variables (técnica de aplicación, envejecimiento, etc.) Que no se controlan hacen que los resultados no sean nada fiables.

3.3.2.1.3. Obra en conjunto

A partir de calas en el revestimiento y puntualmente en la pared, podremos visura la homogeneidad en el espesor de las juntas (horizontales y verticales), la constancia geométrica de las hiladas, las trabadas en las esquinas, la continuidad de la pared en conectar con los techos, la continuidad geométrica y la excentricidad de las cargas, etc.

Como técnicas instrumentales que nos pueden enterarse de la uniformidad de respuesta respecto de un estímulo, podemos citar la auscultación dinámica y los ultrasonidos, si bien, en general, no aportan una gran información por lo que representan de complejidad de proceso instrumental.

3.3.2.2. Análisis de síntomas i lesiones

Los síntomas y las lesiones que hayamos observado y documentado con precisión deben ser analizados con atención, para determinar las causas que los han producido, el momento de su aparición (en su origen, en algún momento histórico, O recientemente) y la incidencia que pueden tener en el comportamiento del edificio ahora y en el futuro. En general, se presentan en los puntos más débiles o en los que se encuentran más solicitados y, por tanto, siempre son una buena pista en la valoración del conjunto.

Una primera información a determinar es la anchura de la fisura, junto con el análisis pormenorizado de sus labios, la dirección de crecimiento. etc.

Un medidor de grietas (galga para comparar) o una lupa que interpone reglas submilimétricas nos serán imprescindibles. Una visión detallada del interior de la grieta, los posibles espesores de pintura, la suciedad en el interior, etc. , Así como la información que nos faciliten los usuarios, pueden permite re determinar si se trata de un proceso activo (tiende a abrirse progresivamente). si se trata de una grieta que se ha convertido en la junta (se abre y se cierra cíclicamente) o bien si está parada, es decir, es una grieta muerta.

En caso de que el estudio se alargue en el tiempo, podemos determinar el posible movimiento de estas fisuras instrumentándolas y realizando lecturas espaciadas en el tiempo. En algunos casos, puede resultar de interés conocer otros parámetros para correlacionarse con el movimiento de la grieta (temperatura, humedad, etc.).

Para realizar estas lecturas espaciadas podemos disponer de (Tabla 3.5):

Tabla 3.5. *Herramientas, lectura y sensibilidad.*

HERRAMIENTAS	SENSIBILIDAD
Testigos de yeso	0,5 mm a vista 0,1 mm con galgas
Fisurómetros	0,5 mm a vista 0,1 mm con galgas
Pies de rey	0,1 mm
Comparadores	0,01 mm o bien 0,001 mm
Extensómetros eléctricos	0,01 mm o hasta 0,001 mm

Tabla según: Cecchini, Cecilia. 1999.

Algunas de las lecturas referidas a lesiones activas requieren una toma de datos constante o periódica en un espacio de tiempo más o menos largo. En estos casos es necesario adoptar sistemas de medición automáticos o monitorizaciones, que luego resultan más fáciles de elaborar e interpretar.

En los casos que se detecten lesiones internas (huecos en el interior de las paredes, bolsas de humedad, rellenos de naturaleza diferente, etc.), Puede resultar esclarecedora una observación detallada. Dejando de lado los procedimientos más o menos destructivos (calas hasta la profundidad necesaria, generalmente de gran tamaño) podemos disponer de técnicas como la endoscopia, la auscultación dinámica y los ultrasonidos.

3.3.2.3. Análisis de modificaciones

Un aspecto que no podemos olvidar en este análisis son las modificaciones de que han sido objeto las paredes y su entorno, desde su construcción hasta la actualidad, que pueden ser muchas y variadas, tales como:

- Obras en edificios vecinos (utilización de medianeras, construcción de sótanos, etc.)
- Modificación de los niveles de las calles (terraplenes con empuje, cimientos al descubierto, etc.)
- Introducción de vibraciones en el suelo (metro, carreteras, etc.)
- Variación de las condiciones ambientales (humedad, contaminación, etc.)
- Acciones de tipo excepcional (seísmos, explosiones, etc.)
- Ampliaciones y remontes
- Nuevas sobrecargas (de uso o permanentes)
- Modificaciones en el sistema estructural (sustitución de paredes para sistemas porticados, apertura de huecos, cierre de huecos, etc.)
- Introducción de nuevos elementos estructurales y su puesta en carga (reparaciones, refuerzos y sustituciones)
- Apertura de regatas para instalaciones (verticales, horizontales u oblicuas)
- Tabiques u otros elementos no estructurales que han entrado en carga

En estos casos, la inspección visual y la información, facilitada por los ocupantes del edificio, es fundamental. Sin embargo, en algunos aspectos nos pueden ayudar determinadas técnicas. Es el caso de las regatas realizadas en las paredes para ocultar instalaciones, que se pueden detectar mediante un detector de instalaciones como paso previo a la realización de catas que permitirán determinar la anchura y la profundidad de la merma de sección de la pared.

También debemos considerar aquellos cambios locales en las paredes producidos a lo largo del tiempo, cierres de aberturas, reparaciones puntuales, etc., A menudo con materiales diferentes a los originales y sin muchas garantías de su puesta en

carga. Si bien el equipo es complejo, la termografía de infrarrojos se convierte en una técnica no destructiva que permite localizar estas intervenciones.

3.3.2.4. Análisis del comportamiento estructural

En una visión más orientada al conocimiento del comportamiento estructural, hay que determinar el estado y el descenso de cargas, las funciones que desarrollan cada uno de los diferentes elementos y la relación que tienen entre sí.

La tipología estructural del edificio es determinante en su comportamiento respecto a grandes solicitaciones. Habrá, pues, valorar diversos aspectos en este sentido:

- Simetría en planta y en altura
- Centro de gravedad del edificio (en volumen) y de la planta (en superficie)
- Esbeltez del edificio
- Paredes de carga parejitas sin ligada transversal
- Paredes de carga trabadas transversalmente formando un sistema único
- Dimensiones de las aberturas
- Altura libre entre plantas
- Distancia libre entre paredes de arriostramiento
- Características de la estructura horizontal
- Sistema de conexión techo-pared
- Zunchados o atirantados a diferentes niveles
- Elementos de rigidización vertical
- Tipo de cubierta
- Plantas inferiores con estructura porticada
- Tipología de la estructura porticada

Una vez disponemos de toda esta información y antes de proceder al diseño de la campaña de ensayos, es recomendable hacer una primera hipótesis y un pre cálculo de la capacidad de la estructura vertical y de su comportamiento previsible con respecto a las solicitudes • licitaciones horizontales (Tabla 3.6).

Tabla 3.6. *Localización, muestra y técnica para el análisis de unidades estructurales.*

OBJETO	RESULTADO BUSCADO	MUESTRA PARA ENSAYO	TÉCNICA A UTILIZAR
Zonas muy solicitadas Paredes de varias hojas	tensión de trabajo real	inalterada *in situ*	gato plano
Donde sea necesario	resistencia a compresión de los ladrillos	alterada (laboratorio)	ensayo normalizado
Zonas poco solicitadas	resistencia a compresión de la obra	extracción de muestra semi alterada (laboratorio)	ensayos a compresión sin confinamiento lateral
		inalterada *in situ*	marco de carga gato plano
Zonas poco solicitadas	resistencia a flexión de la obra (perpendicular al plano)	inalterada *in situ*	marco de confinamiento y presión repartida
		extracción de muestra semi alterada (laboratorio)	marco de confinamiento y presión repartida
Donde sea necesario	módulos de deformación de la obra	inalterada *in situ*	gato plano
		inalterada *in situ*	extensometría con perforación
Paredes de varias hojas muy gruesas	módulos de deformación de la obra	inalterada *in situ*	dilatómetro de profundidad
Zonas poco solicitadas	resistencia a cortante	inalterada *in situ*	gato plano y gato lateral
Donde sea necesario	adhesión ladrillo-mortero	inalterada *in situ*	BRE
		extracción de muestra semi alterada (laboratorio)	ensayos convencionales

Tabla según: Labastida, Francesc. 1999.

De acuerdo con el resultado obtenido en el pre cálculo comentado, decidiremos si hay que continuar profundizando en el conocimiento de la estructura, si estamos en disposición de validarla (total o parcialmente) o bien podemos diagnosticar la necesidad de intervención general.

Para las zonas que nos presenten dudas, deberá ampliar la información, diseñando y realizando la campaña de ensayos que nos permita cuantificar los parámetros mecánicos de los diferentes componentes de las paredes, estimar con precisión las cargas a las que están sometidas, las tensiones reales de trabajo y los módulos de deformación.

A continuación, se exponen algunos procedimientos de ensayo que permitirán determinar la tensión de trabajo de una sección determinada, la resistencia a compresión, los módulos de deformación, la resistencia a cortante y la adhesión mortero-ladrillo.

Se trata de ensayos complejos pero que facilitan valores concretos y directos. El cruce de estos datos con la información obtenida de forma cualitativa permitirá disponer de una visión general de las características de las paredes.

3.3.2.4.1. Determinación de la tensión de trabajo

Este dato se puede obtener de forma teórica a partir de un descenso de cargas conocidas las acciones que solicitan la sección objeto de estudio.

Resulta conveniente contrastar este dato con algunas determinaciones experimentales. La herramienta adecuada es el gato plano (ASTM D 4729-81) (figura 3.1).

La explicación del método es bastante sencilla. Se trata de medir la distancia en vertical de diversos puntos de la pared. Posteriormente se realiza, con sierra o taladro, un corte horizontal (20 a 40 cm) de pequeño espesor siguiendo un conjunto de la pared. La tensión que soporta esta porción de pared provocará un cierto cierre del corte y, por tanto, un acortamiento de las lecturas iniciales. Llegados a este punto se coloca un gato plano en el corte, se adapta a las posibles irregularidades del corte y se hace entrar en presión.

Se realizan pares de lecturas entre tensión aplicada y recuperación de la deformación. Una vez restablecida la distancia vertical original y aplicadas las correcciones oportunas a las lecturas de tensión en el gato plano, se dispone de la tensión de trabajo de la pared en esta zona.

3.3.2.4.2. Determinación de la resistencia a compresión de la pared

La mayor parte de bibliografía (de normativa) en este campo está encaminada a determinar la resistencia de la obra como parámetro previo a la construcción. Todos los métodos (basados en recomendaciones RILEM) se pueden resumir en la confección de pequeñas porciones de pared en el laboratorio, siguiendo unas especificaciones determinadas, y ruptura posterior en prensa de compresión. La aplicación de este método en las paredes existentes se podría traducir en la extracción de ladrillos, bloques, etc. de la obra para confeccionar posteriormente probetas de obra en el laboratorio y determinar una cierta aproximación a la resistencia a compresión de la pared. Quedarían mal reproducidas cuestiones tan importantes como el tipo de mortero, la ejecución de las juntas y el confinamiento lateral.

Una segunda opción consiste en extraer un testigo de la obra (fábrica) de grandes dimensiones y romperlo por compresión en el laboratorio. Un avance en esta misma línea consiste en desplazar la prensa en la obra. Se trata de montar un marco de carga en la pared que se quiere ensayar y producir la rotura in situ a partir de un sistema de presión hidráulico de gran capacidad. Ahorran los problemas de extracción y transporte de las muestras.

En este caso, el ensayo se puede realizar con confinamiento lateral o sin confinamiento.

Este tercer método resulta el más interesante por la calidad de la información que proporciona.

3.3.2.4.3. Determinación de los módulos de deformación de la obra

En los ensayos de compresión descritos anteriormente, se puede instrumentar la lectura de deformaciones verticales y horizontales. Trabajando en el ensayo con escalones de carga se podrán relacionar las tensiones aplicadas a las deformaciones obtenidas y determinar los módulos de deformación. En este caso, el confinamiento lateral es imprescindible.

La técnica más sutil, que puede ser considerada como semidestructiva se basa en la utilización de gatos planos. El procedimiento es similar al descrito anteriormente para determinar la tensión de trabajo, pero actuando con dos gatos en paralelo que dejan entre sí la muestra de pared que se quiere ensayar. Incrementando la presión del hidráulico de los dos gatos y leyendo deformaciones verticales y horizontales, se pueden determinar los módulos de deformación de la pared.

Si se dispone de resultados de tarado en laboratorio, este procedimiento también permite extrapolar hasta determinar la resistencia a compresión.

Si se trata de paredes de gran espesor compuestas por más de una hoja, resulta complicado determinar el módulo de deformación de la hoja interior. Se puede conseguir un valor cualitativo trabajando con un dilatómetro circular introducido en una perforación hecha previamente. La técnica es muy similar a la del presiómetro de geotecnia.

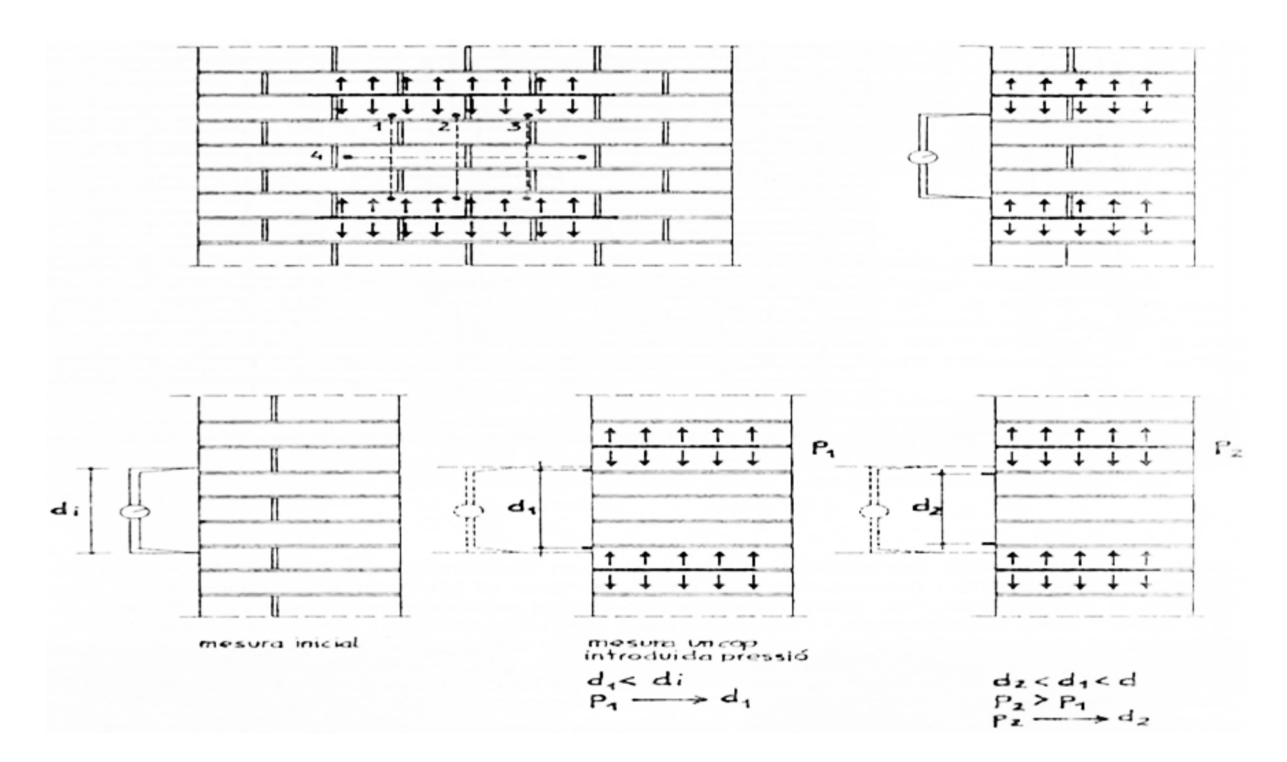


Figura 3.1. Ensayos de compresión y técnica de los gatos planos.

Juan Antonio García Esparza
ISBN: 978-84-17429-28-7

Proyectos II. Técnicas de conservación y mantenimiento - UJI -
DOI:http://dx.doi.org/10.6035/Sapientia144

3.3.2.4.4. Determinación de la resistencia a cortante

El principio del ensayo que se propone es muy similar al del «corte recto» de muestras de suelo. Se trata de aplicar cargas de compresión a partir de dos gatos planos y una carga horizontal a partir de un cilindro de presión. Se trabaja para escalones de carga y se instrumentan las deformaciones.

3.3.2.4.5. Determinación de la adhesión ladrillo-mortero

Hay ensayos normalizados para determinar este valor, pero se basan en la confección de probetas en el laboratorio. En este caso, quedan mal reproducidas cuestiones tan importantes como el tipo de mortero, la ejecución de las juntas, etc. Para resolver el tema, el BRE ha desarrollado un ensayo semidestructivo (recogido por recomendaciones RILEM), llamado BRENCH. Consiste en liberar el ladrillo de todas las juntas de mortero, excepto lo que se quiere ensayar, y aplicar un brazo de palanca controlado hasta arrancar el ladrillo de la obra.

3.3.3. Comprobación de la seguridad

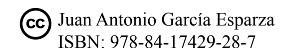
El objetivo de todo nuestro trabajo es precisar la capacidad de las paredes del edificio, que determinaremos en este apartado basándonos en la información obtenida.

Los datos de que disponemos nos permitirán proceder a calcular, según la normativa vigente, la capacidad de las paredes y determinar el coeficiente de seguridad (Tabla 3.7).

A menudo resultará difícil llegar a unos resultados absolutamente satisfactorios en los cálculos, en relación con la norma actual y, en general, se sacarán unas conclusiones cualitativas que, basadas en los cálculos, nos orientarán sobre si aceptamos la seguridad actual, ponemos limitaciones o no la aceptamos.

Tabla 3.7. *Seguridad respecto a las cargas gravitatorias*

Datos a conocer:
1. *Características constructivas*
   Dimensiones
   Materiales
   Técnicas constructivas
2. *Características estructurales*
   Valoración de las cargas (cualitativas y cuantitativas)
   Descenso de cargas y tensiones de trabajo
   Excentricidad de las cargas. Desplomes de origen



Trabada, zunchados y atirantamientos
Esbeltez

3. *Prestaciones mecánicas*
   Resistencia a compresión
   Resistencia a flexotracción
   Módulos de deformación
4. *Análisis de lesiones*
   Desplomes
   Bombeos
   Deformaciones
   Desplazamientos
   Grietas y fisuras

Finalmente:

5. *Cálculo (aplicación de la norma vigente)*
6. *Determinación del coeficiente de seguridad*
   Posibles resultados:
   Seguridad aceptable
   Seguridad limitada
   Seguridad inaceptable

3.3.4. Valoración de la vulnerabilidad

Los edificios con estructura de paredes de carga son como cajas, con dos tipos de paredes resistentes conectadas entre sí, las longitudinales y las transversales, que complementadas con un techo forman un sistema único.

Las paredes de carga tienen la misión de soportar básicamente las cargas gravitatorias y las de traba la de resistir los empujes horizontales.

Evaluar la vulnerabilidad de un edificio es valorar la calidad de este sistema, teniendo presente la traba, los arriostramientos, los agujeros, las características constructivas, la tipología edificatoria y estructural y muchos otros factores ya comentados (Tabla 3.8).

En este caso, los cálculos resultarán más difíciles y una interpretación valorativa de la información será nuestro soporte fundamental, que nos permitirá decantarnos por una estabilidad aceptable, limitada o inaceptable a la vista de la posible vulnerabilidad del sistema.

Tabla 3.8. Vulnerabilidad respecto a las solicitaciones horizontales

Datos a conocer: 1. *Características constructivas* Dimensiones y planta del edificio Dimensiones de las paredes Materiales y técnicas constructivas 2. *Características estructurales* Trabada del sistema estructural Trabada interna de la pared Esbeltez Zunchados y atirantamientos Nudo techo-pared 3. *Prestaciones mecánicas* Resistencia a compresión Resistencia a flexotracción Módulos de deformación Resistencia a cortante 4. *Análisis de lesiones* Desplomes Bombeos Deformaciones Desplazamientos Grietas y fisuras Corrosión de aros y tirantes Finalmente: 5. *Interpretación de resultados* 6. *Valoración de la estabilidad*
Posibles resultados: 1 *Estabilidad aceptable* 2 *Estabilidad limitada* 3 *Estabilidad inaceptable*

3.3.5. Valoración de la durabilidad

Otro factor a tener presente en el momento de hacer las anteriores comprobaciones y valoraciones, es la posibilidad de que los diferentes componentes de las paredes sigan manteniendo las mismas características dimensionales y de comportamiento mecánico en el tiempo o, por el contrario, estén expuestas a una pérdida de calidad a corto o medio plazo.

El estudio del comportamiento de los materiales en algunas pruebas físico-químicas y el conocimiento de los agentes agresivos que los pueden afectar, nos permitirá hacer valoraciones en términos de durabilidad correcta, limitada o incorrecta, según proceda (Tabla 3.9).

La complejidad de esta temática y los estudios que se están desarrollando tanto en nuestro país como en el extranjero sobre este tema, nos aconsejan no tratar más, porque se aparta ligeramente de los aspectos estrictamente estructurales, y lo queremos tratar pronto con la profundización que requiere, en una publicación específica dentro de esta misma colección.

Tabla 3.9. Expectativas de durabilidad en el tiempo

Datos a conocer:

1. *Características constructivas*
   Materiales
   Técnicas constructivas
   Revestimientos de protección
   Condiciones de diseño
2. *Características de los materiales*
   Densidad
   Porosidad
   Absorción
   Desorción
   Succión capilar
   Permeabilidad al vapor
   Resistencia mecánica
3. *Agentes agresivos*
   Humedad
   Sales solubles
   Agentes biológicos
   Erosión eólica
   Atmósferas agresivas
4. *Análisis de lesiones*
   Piedra, ladrillo y mortero
   Depósitos
   Patinas
   Costras
   Pulverización y meteorización
   Alveolización
   Escamas
   Eflorescencias
   Pérdida de resistencia
   Piezas metálicas
   Corrosión

Finalmente:

5. Interpretacíón de resultados
6. Valoración de durabilidad

Posibles resultados:
1 Durabilidad correcta
2 Durabilidad limitada
3 Durabilidad incorrecta

3.4. *Diagnóstico*

Una vez completada la tarea correspondiente a los estudios previos, en sus diferentes aspectos, dispondremos de una amplia y detallada información referente al edificio, y más concretamente al sistema estructural de paredes de carga cuya valoración tenemos como objetivo.

En esta fase, debemos recoger y analizar toda esta información, que en algunos aspectos estará fragmentada debido a la misma metodología de trabajo, para darle una unidad de lectura que nos permite dictaminar, con claridad y sin dudas, sobre el estado del sistema estructural.

Esta es la última fase de todo el proceso, en la que el análisis global de todos los trabajos anteriores, los criterios subjetivos del técnico y todas las circunstancias intrínsecas y externas que pueden influir en la toma de decisiones nos deben permitir la redacción de un documento o dictamen completo. En este dictamen quedará constancia del estado en que se encuentra el edificio, de las causas que han llevado a esta situación y de las necesidades de intervención.

La estructura del documento final será variable según el caso y puede tener una estructura similar a la propuesta en la prediagnosis, si bien el gran bagaje de conocimientos obtenidos permitirá ampliar de forma sustancial los contenidos y la precisión de las apreciaciones, valoraciones y opiniones, que tendrán un carácter de conclusiones definitivas, así como los anexos, que serán mucho más interesantes con toda la documentación gráfica realizada durante el levantamiento y los resultados de las pruebas.

Como se ha comentado, los estudios de seguridad se habrán hecho por unidades de decisión y para cada una habrá que valorar los resultados diversificando las conclusiones consecuentemente y agrupando las intervenciones en la medida de las posibilidades.

El diagnóstico, como conclusión del proceso de diagnóstico del sistema estructural de paredes de carga, representa una toma de decisiones en relación a la seguridad, estabilidad y durabilidad, que puede conllevar tres alternativas fundamentales:

- Aceptar la estructura en su estado actual, tanto si está por encima como si está por debajo de los estándares exigibles.
- Intervenir para proteger, reparar, reforzar o sustituir alguna parte.
- Proponer el derribo total o parcial del edificio debido a su estado crítico.

En esta toma de decisiones siempre hay un grado de duda, variable en función de la cantidad, precisión, idoneidad y representatividad de la información recogida. Dictaminar supone la aceptación de un riesgo difícil de valorar, que se mueve en el ámbito de la incertidumbre que existe entre la teoría científica y la realidad experimental. Recurrir a los parámetros preestablecidos en la normativa de nueva construcción, si bien nos permite cubrir nuestra responsabilidad, no siempre resulta fácil ni coherente.

Decidirnos por una u otra alternativa, a menudo exigirá tener en cuenta otros aspectos a reflexionar como: las posibles consecuencias que un colapso podría producir a personas y bienes patrimoniales, la validez del modelo y de la normativa empleados, y otros que las circunstancias de cada caso comporten.

4. Una metodología para el análisis estructural y para la selección del sistema de intervención

4.1. *Criterios y técnicas de intervención*

El estudio de un monumento es una operación extremadamente compleja por diferentes motivos: la individuación de las causas que originan las lesiones y la degradación; la evaluación de la seguridad del monumento en las condiciones actuales, la decisión de intervenir para restaurar, reforzar, adecuar, consolidar, la adopción de los criterios de intervención, el control de su eficacia, etc.

Por otro lado, las diversas fases del estudio, sólo en parte se podrán valer del rigor de la ciencia, bien porque las teorías científicas no siempre están en condiciones de analizar los diversos fenómenos, bien porque la decisión y la elección de los tipo de intervenciones es una operación en la que la cultura humanista juega un papel paralelo al de la cultura científica, ya que un monumento, antes que una estructura resistente, representa un testimonio histórico y arquitectónico.

Se impone, por tanto, un método en el que la ciencia y la intuición, la teoría y la práctica, los aspectos cuantitativos y cualitativos entrelacen de forma que garanticen la coherencia y la racionalidad de todas las fases del estudio.

Las intervenciones, como ya hemos dicho, deben ser decididas y orientadas en función de la seguridad de la obra en su estado actual, y por lo tanto deben ser dimensionadas en función del control del nivel de seguridad que debe alcanzar.

En un monumento, sin embargo, la seguridad estructural no es el único resultado que tenemos que conseguir, ya que la salvaguardia del valor histórico y arquitectónico es una tarea igualmente importante lograr; estos dos aspectos, como veremos, pueden incluso, entrar en contraposición en algunas situaciones.

La elección del tipo de intervenciones puede, además, llevar a soluciones definitivas o reversibles, a la utilización de técnicas y tecnologías tradicionales o modernas, se

trata de opciones que se deben basar no sólo en una cultura científica, si no también humanística, en una visión más amplia de salvaguardia y valoración del bien.

4.2. *Consideraciones previas en cuanto a la consolidación*

En cuanto al refuerzo de paredes para mejorar su capacidad de trabajo, hay que hacer dos operaciones previas:

- Primera, evaluar correctamente la capacidad de trabajo del elemento y definir con exactitud los esfuerzos a que está o estará sometido.
- Segunda, decidir el reforzamiento conociendo en qué medida y de qué manera se mejorará, fortalecerá o afirmará el elemento de referencia.

El principal problema suele ser la determinación de las características físicas de las masas estructurales, es decir, decidir cuál puede ser el valor numérico que servirá en los cálculos habituales que hoy efectuamos para proyectar el reforzamiento a partir de esta evaluación. Es un tema complejo, por la heterogeneidad, en casi todos los casos, de las circunstancias de ejecución de las paredes antiguas.

Actualmente, trabajamos sobre materiales homogéneos y descriptibles, el señalamos con detalle las características y las comprobamos, cuando es necesario, a posteriori, por medio de ensayos. Además, hay una abundante legislación referida al tema, normas, etc., Pero no siempre ha sido así. El repertorio de materiales y sistemas es escaso: cal, mortero, piedra y ladrillo.

En cuanto a la cal, varía según la calidad de las canteras, la temperatura de cocción, el proceso de apagado y las condiciones de endurecimiento. Hasta el siglo XIX no se conoce la química de la cal ni la de los morteros, por lo que todo está sujeto al riesgo del acierto, en el sentido literal de la palabra.

Por todo ello, es probable que nos encontremos casi siempre con morteros de mala calidad, peores cuanto más antiguos, porque lo que si que pasa es que en cada área geográfica se llega a un cierto dominio del material existente, aunque esto no resulte una excesiva garantía.

En el caso de piedras, es decir, de elementos monolíticos o aquellos en los que la proporción del mortero es mínima, es posible hacer una aproximación mejor, aunque las características de las piedras experimentan modificaciones a lo largo del tiempo y dependen del estado de carga.

A partir de estos conceptos es posible suponer un valor que se relaciona con el estado actual de cargas, es decir, que las paredes soportan, como mínimo, lo que soportan, si bien el problema sea, por un lado, decidir en qué momento lo dejarán de hacer, aunque generalmente no se puede medir en días para fijar el grado de seguridad del conjunto.

En cuanto a las paredes, una vez ejecutadas, hay que señalar que son muy heterogéneas, incluso dentro de un mismo elemento, ya que carecen unas exigencias basadas en conocimientos científicos.

Dos tipos de paredes:

- Emplecton de diferentes tipos. Su capacidad depende de la proporción entre la masa interior y el grosor y la calidad del mampostería de las caras exteriores, tanto mortero como sillares.
- Homogéneo con diferentes grosores de junta. Su calidad depende fundamentalmente de las características del mortero y del espesor de las juntas.

4.3. *Métodos de intervención*

El primer sistema a considerar es la no intervención y el establecimiento de un control preventivo sobre la pieza. El segundo, en importancia creciente por su repercusión sobre el elemento, se aplica cuando la patología es una degradación causada por los agentes externos, acelerada por las cargas, y normalmente se refleja en un lavado de los morteros, lo que conlleva una pérdida de coherencia.

En estos casos hay que intervenir saneando y rejuntado la pared, pero tratando de no crear puntos de mayor rigidez que la ya existente, ni de aportar elementos que puedan ser incompatibles por problemas químicos o mecánicos.

A partir de aquí, para sistemas más agresivos, los técnicos deben tomar una decisión singularizada en cada caso.

En general, las paredes antiguas están hechas con materiales que sólo trabajan bien a compresión, y quizás esto comporta su pervivencia y sus patologías.

Cono normas generales, hay que exigir sistemas de perforación poco traumáticos, sin agua o con recuperación de la que se aporte, sin excesivas vibraciones, con diámetros mínimos y sistemas de replanteo fiables, con materiales de relleno, el comportamiento físico y químico de los cuales sea conocido y fiable.

Se deben evitar contactos no deseables, por supuesto los que crean pares eléctricos y los que pongan en contacto materiales incompatibles, incompatibilidad que resulta difícil de definir lo largo de los siglos.

Por todo ello, se puede recomendar la utilización de las técnicas antiguas, cuando proceda, en el reforzamiento de elementos de fábrica.

No se trata de renunciar a nada, sino todo lo contrario, no despreciar ninguna solución, aunque sea con métodos tradicionales, a pesar de los problemas de aplicación que se puedan presentar. A favor de su utilización se pueden hacer dos consideraciones importantes:

- Su durabilidad está comprobada, pues las técnicas y materiales actuales habrá verla. El cemento aluminoso es un ejemplo claro del tipo de problemas que se pueden presentar.
- No se introducen puntos de mayor resistencia en masas que se adaptan mejor a algún tipo de deformaciones.

4.4. *Las técnicas tradicionales*

Estas técnicas contienen mucha más sabiduría de lo que puede apreciarse en un análisis superficial: la deformabilidad de la estructura muraria, incrementada por microfisuras o pequeñas lesiones que no comprometen la estabilidad, sino al contrario permiten adaptaciones a las acciones térmicas y los pequeños asentamientos del suelo; la excepcional capacidad portante de los arcos, de las bóvedas y de las cúpulas, si el empuje puede ser contrarrestada, el uso inteligente de la madera, no sólo en tejados y techos, sino también en tirantes, para mejorar la continuidad y las conexiones entre los muros. Así pues, el uso de materiales y técnicas tradicionales en los proyectos de restauración no es intervenir sólo para mantener el valor histórico, sino que representa también un reconocimiento de su validez y de la validez de las concepciones originales. En muchos casos es sólo el transcurso del tiempo que produce degradación, aunque las actividades del hombre son a menudo causa de una progresión más rápida de la degradación, en relación con las modificaciones del ambiente, la contaminación, el tráfico y el turismo.

Las concepciones estructurales antiguas, sin embargo, no carecen de errores, sólo hay que pensar que la historia del progreso de la arquitectura es también la historia, menos conocida, los hundimientos y los daños: la proyección imperfecta, la falta de continuidad en las paredes, la insuficiente resistencia a tracción de la estructura muraria y el deterioro irreversible, especialmente de los elementos de madera, son precisamente algunos de los problemas que nos vienen de herencia.

En definitiva, debe ser a partir de una posición inteligente, más que rígida, que se valore en cada caso específico la conveniencia de utilizar, para la rehabilitación, las tecnologías originales y los materiales antiguos, sobre todo cuando a fenómenos que en aquella época no se pudieron tener en cuenta, tales como terremotos o asentamientos del suelo posteriores.

4.5. *Las técnicas modernas*

El uso indiscriminado de nuevas técnicas y tecnologías en la restauración ha ocasionado con razón una reacción negativa, que, sin embargo, como todas las posiciones extremas, no puede ser siempre justificada.

Ciertamente, las nuevas tecnologías deben ser usadas con gran cuidado, porque su «potencia» puede provocar daños irreversibles, como se puede observar en varios

trabajos realizados en los últimos decenios, todo esto es empeorado por el hecho de que muchas tecnologías (por ejemplo, la inserción de barras de acero, las inyecciones de cemento, etc.), no sólo se han utilizado sin haber sido previamente experimentadas con cuidado, sino que además han sido aplicadas allí donde no era necesario, sin comprender los posibles efectos negativos colaterales (concentración de rigideces, etc.).

A menudo hay que hacer trabajos de restauración para reparar aquello que fue restaurado mal en tiempos recientes. Aquella rama de la ingeniería que se interesa por la restauración debe elegir, por tanto, el camino de la prudencia debe estar integrada por una formación cultural amplia, en la que encuentren lugar la ciencia, la historia y la arquitectura, para evaluar el significado y las consecuencias de cada una de las alteraciones y modificaciones de la concepción original. Nosotros pensamos sin embargo que, si son utilizadas adecuadamente, las tecnologías modernas pueden ofrecer soluciones interesantes y pueden ayudar a preservar al máximo el patrimonio arquitectónico.

Por ejemplo, Uno de los problemas más importantes en la restauración de monumentos es a menudo la exigencia de asegurar un determinado nivel de resistencia a la tracción, los materiales modernos pueden, a veces, proporcionar alternativas interesantes y más eficientes que los antiguos tirantes de hierro, que las conexiones de madera o que las débiles conexiones realizadas en el ámbito de la misma pared.

4.6. *Conclusiones*

La elección de los criterios y de las tecnologías de intervención es una operación técnica y al mismo tiempo cultural, cuando hay una escisión entre las dos culturas, entre la cultura científica y la cultura humanística, como ha sucedido frecuentemente en las restauraciones recientes, sólo puede haber soluciones malas.

Nosotros creemos que, mientras tengan que reglamentar las metodologías y los procedimientos para el diagnóstico, para el análisis estructural y la evaluación de la seguridad, para el control, para las modalidades de aplicación de las diversas técnicas y tecnologías, etc., no se pueden establecer normas para la elección de los criterios de intervención, aunque naturalmente se pueden dar unas directrices: el respeto por la concepción original, un compromiso sabio entre los requisitos de seguridad y la durabilidad, siguiendo la filosofía de la intervención mínima, una valoración atenta de las posibilidades ofrecidas por las tecnologías viejas y nuevas, etc.

La restauración, por tanto, en sus variadas situaciones, desde la eliminación de las superposiciones en la reconstrucción de partes destruidas, desde la salvaguarda y valoración a las modificaciones de uso, desde los problemas creados por fenómenos imprevistos, como los terremotos y los hundimientos del suelo, al inexorable avance de la degradación, favorecido por la contaminación y el tráfico, no se puede codificar, sino que se le debe confiar a la sensibilidad, a la experiencia, al

sentido común, el conocimiento técnico y científico del proyectista: dicho de otro modo, a la cultura.

5. Técnicas de intervención en sistemas estructurales de paredes de carga

5.1. *Introducción*

Una vez disponemos de un conocimiento suficiente del sistema estructural, de cada uno de sus componentes y de las lesiones que presenta, como resultado de la diagnosis realizada, cabe plantearse cuáles son las intervenciones necesarias para corregir las carencias observadas y garantizar la seguridad, la estabilidad y la durabilidad del edificio.

Como ya se ha comentado en otros apartados de esta publicación. La complejidad del sistema estructural de paredes de carga hace que muchos de los problemas que se manifiestan de forma aparente en la pared, tengan su origen en otros componentes del edificio como los cimientos, el terreno o la estructura horizontal, sea por un mal funcionamiento de estos componentes o por modificaciones introducidas con el tiempo.

Con el objetivo de simplificar la diversidad de interacciones que pueden incidir en una pared, se presenta el esquema adjunto en el que se separa la problemática relacionada con el terreno y los cimientos de la que hace referencia a la pared ya la estructura horizontal que incide (Tablas 5.1 y 5.2).

Tabla 5.1. *Esquema de posibles intervenciones para problemas en el terreno y en la cimentación.*

ORIGEN DEL PROBLEMA	EFECTOS	INTERVENCIONES
Naturaleza del terreno — Terreno heterogéneo — Baja resistencia	— Asientos	— Llevar cargas a terreno más resistente — Ampliar superficie de contacto — Reforzar terreno
Humedad del terreno — Alteraciones nivel freático — Erosión	— Contracción terreno — Inflado terreno — Pérdida resistencia — Formación cavidades	— Limitar extracciones de agua — Bombear agua — Formación de drenajes — Corrección de pérdidas de instalaciones — Llevar cargas a terreno más resistente

Cargas sobre el terreno — Anomalías en la cimentación — Cargas irregulares — Incrementos de cargas	— Asientos — Desplazamientos	— Recalce superficial — Micropilotes — Ampliar superficie de contacto — Ligado de la cimentación — Consolidación de la cimentación

Tabla según: Labastida, Francesc. 1999.

Tabla 5.2 *Esquema de posibles intervenciones para problemas en la pared.*

ORIGEN DEL PROBLEMA	EFECTOS	INTERVENCIONES
Carencias constructivas — Secciones no homogéneas — Sección insuficiente — Pared con diferentes módulos de elasticidad — Materiales baja calidad — Muro sin traba interna — Cargas puntuales importantes	— Deformación diferencial y giro pared — Concentración de cargas — Reducción capacidad pared — Deformaciones y fracturas localizadas — Comportamiento independiente entre paredes	— Reducir cargas — Rigidizar sistema estructural tirantes arcos y bóvedas contrafuertes cosidos y grapados — Consolidación de paredes — Relleno de huecos — Pasadores transversales — Desmontar y montar — Nuevas estructuras paralelas — Mejorar reparto cargas
Modelo estático incorrecto — Incapacidad para soportar el empuje de las bóvedas — Falta de traba transversal — Esbeltez excesiva — Paredes excesivamente agujereadas	— Deformación paredes y lesiones vueltas — Pandeo paredes — Tensiones excesivas — Sistema poco uniforme — Falta de rigidez — Reducir aberturas	— Reducir cargas a las vueltas — Rigidizar sistema estructural tirantes arcos y bóvedas contrafuertes cosidos y grapados
Modificaciones en la estructura — Reducción de la estructura portante (regatas y agujeros) — Eliminación de techos — Apeos	— Incrementos de carga — Rotura ligada	— Reducir cargas — Rigidizar sistema estructural tirantes arcos y bóvedas contrafuertes cosidos y grapados — Consolidación paredes — Relleno vacíos — Pasadores transversales — Desmontar y montar — Introducir nuevas estructuras — Tapar agujeros / mejorar jambas

Cargas dinámicas — Sismos — Vibraciones de maquinaria y circulación — Explosiones	— Movimiento de paredes — Rotura de paredes	— Rigidizar sistema estructural tirantes arcos y bóvedas contrafuertes cosidos y grapados — Consolidación paredes — Relleno vacíos — Pasadores transversales — Desmontar y montar
Degradación de materiales — Humedades — Atmósferas agresivas — Sales solubles — Hielo — Fuego — Agentes bióticos — Erosión eólica	— Pérdida de sección — Pérdida de capacidad mecánica	— Reparación — Protección — Aplacado — Sustitución de piezas

Tabla según: Labastida, Francesc. 1999.

Las intervenciones que se llevarán a cabo son variables, en función de los diferentes problemas presentados y las lesiones con las que se manifiestan.

Las disfunciones que aparecen en el primer cuadro pueden tener su origen en la naturaleza del terreno, en sus alteraciones o en las cargas que el inciden. Los efectos que producen son asentamientos o desplazamientos de los cimientos. Las intervenciones para afrontar esta problemática también se pueden concretar en pocas opciones, como recalzados, reforzamiento del terreno, reforzamiento del fundamento y corrección de los problemas de aguas subterráneas.

Las disfunciones que aparecen en el segundo cuadro tienen su origen en las características constructivas del sistema estructural o en modificaciones o degradaciones de sus componentes. Los efectos son completamente diferentes de los anteriores aunque su exteriorización en forma de lesiones pueda parecer similar. Las intervenciones para afrontar estos problemas también son diferentes, tales como reducir cargas, rigidizar el sistema, consolidar las paredes, introducir nuevas estructuras y una amplia gama de soluciones puntuales para dar respuesta a problemas específicos.

Todos los posibles sistemas de intervención comentados, tanto en terrenos como en cimientos o paredes, han sido utilizados a lo largo de la historia en métodos y técnicas tradicionales que han ido evolucionando y se han ido adaptando a las características de cada momento y cada edificio. Los avances actuales en el mundo de la ingeniería y de la construcción han aportado nuevos métodos y técnicas que, basándose en la misma filosofía de intervención, permiten la realización de trabajos mucho más complejos con resultados satisfactorios en algunos casos y dudosos o contraproducentes en otros.

Es necesario, pues, adoptar una postura crítica ante cualquier sistema de intervención y ser capaz de escoger el más idóneo para cada caso concreto, sea utilizando materiales y técnicas tradicionales, con un buen conocimiento de sus limitaciones, sea adoptando materiales y técnicas modernas suficientemente contrastadas por la experiencia y las pruebas adecuadas. El tipo de edificio en el que debemos actuar resultará un condicionante importante en la solución a elegir, si el edificio es monumental habrá que tener mucho más cuidado y decantarse por alternativas de fácil reversibilidad.

En la elección del sistema, también hay que tener muy presente la compatibilidad de deformaciones con la estructura existente y no generar esfuerzos secundarios no previstos en el sistema original.

Las intervenciones de las que pueden ser objeto las paredes son muy variadas.

Para una mejor claridad conceptual, en cuanto a sus características y su función, las agrupamos en cinco bloques unitarios.

- Reducción de cargas
- Rigidización del sistema estructural
- Consolidación
- Reformas

5.2. *Reducción de cargas*

Cuando la pared, en su totalidad o en zonas localizadas, se encuentra sometida a unas tensiones excesivas, una de las medidas a adoptar es la reducción de cargas, medida que se puede plantear de tres formas básicas:

5.2.1. Limitaciones de uso

Limitar el peso que se puede poner encima de un techo resulta una medida muy efectiva en las estructuras horizontales, ya que tiene una incidencia muy directa. En el caso de las paredes de cerámica con espesores de 15 cm, esta limitación también puede repercutir muy positivamente, tal como hemos podido observar en la valoración de la seguridad respecto a las cargas gravitatorias. A medida que aumente el grosor y, por tanto, el peso propio de la pared, estas medidas serán menos efectivas.

5.2.2. Redistribución de las cargas

Las cargas que soporta una determinada sección de pared y que producen, en zonas concretas tensiones excesivas pueden modificarse en su recorrido, descargan-

do las zonas más críticas y haciendo entrar en carga otros menos solicitadas. Esta posibilidad sólo es viable en el caso de que haya zonas poco tensionadas, desplazando aberturas en plantas superiores, provocando arcos de descarga, convirtiendo arcos en dinteles o dinteles en arcos según convenga, mejorando la traba con las paredes transversales o con cualquier otro sistema que reparte y de una manera más equilibrada las cargas existentes.

Si los esfuerzos horizontales que inciden en la pared, como consecuencia de una estructura horizontal formada por bóvedas, son excesivos, en algunos casos podemos disminuirlos reduciendo las cargas sobre las vueltas, aligerando las enjutas si están rellenos de materiales pesados, o eliminar cargas no previstas aplicadas a lo largo del tiempo, como resulta frecuente en el apeo de estructuras de cubierta. En edificios donde la estructura horizontal está formada por vigas de madera, de hormigón o metálicas, una alternativa que mejora el comportamiento de los techos y también de las paredes es la de partir luces, haciendo entrar en carga las paredes transversales, si es posible, o añadiendo, si es necesario, nuevos elementos estructurales verticales.

5.2.3. Derribos parciales

En los casos en que las anteriores alternativas resulten inviables o insuficientes, podemos optar por el derribo de las zonas o plantas superiores del edificio, lo que nos permitirá reducir considerablemente las tensiones y mejorar la seguridad y la capacidad de respuesta a los esfuerzos horizontales.

Ir por esta vía sólo será posible en edificios muy concretos, en el que se hayan hecho remontas o reformas perjudiciales estéticamente y estructuralmente o en que la pérdida del coronamiento de la pared o de alguna planta no represente un daño importante.

Tanto en este caso como en el anterior, el proyecto de intervención debe tener en cuenta las alteraciones que se producirán en el sistema y las consiguientes redistribuciones de cargas.

5.3. *Rigidización del sistema estructural*

Una de las carencias principales inherente a todo sistema estructural de paredes de carga se encuentra en su rigidez y, ya sea como medida preventiva o como medida correctiva, mejorar este aspecto ha sido siempre un reto, que se puede afrontar de maneras diversas.

5.3.1. Agregación de estructuras

Las intervenciones con incorporación de nuevas estructuras resultan plenamente procedentes cuando los daños que presenta un muro tienen un carácter muy grave,

con un serio riesgo para la estabilidad del mismo, y además de ello, por lo que fuere, resulta obligado el conservar los elementos constructivos originales, sin que haya lugar a ninguna operación de desmontaje y remontaje.

Usualmente, las estructuras agregadas se organizan con pilares, dinteles y/o pórticos, constructivamente resueltos mediante perfilería de acero laminada o con barras de hormigón armado. Pueden colocarse adosadas a la cara de los muros o plenamente embebidas en el interior de los mismos.

Si se pretende que una nueva estructura quede totalmente empotrada, las cajas y/o rozas para alojarla no pueden ser abiertas todas de una vez y en todo el tajo, sino sucesiva y escalonadamente, para no debilitar las capacidades de un muro que, se supone, presenta un estado precario.

En una palabra, hay que proceder conforme a un estudiado programa, dividido en fases. Todos esos huecos se tienen que hacer con el máximo cuidado, preferiblemente mediante técnicas manuales, que permiten un control más directo, localizado y continuo.

5.3.1.1. Agregación de perfiles de acero

El empleo de perfiles de acero laminado, estructuras de acero que pueden montarse electrosoldadas o atornilladas, ofrece como ventajas lo estricto de sus dimensiones transversales y la cómoda versatilidad de su diseño y de su puesta en obra, pero tiene el grave inconveniente de su alta vulnerabilidad: exige que se preste especial atención a su protección frente al incendio y frente a la corrosión, particularmente la producida por las aguas y por las sustancias selenitosas. Por ello, hay que resolver muy bien, de cara al futuro, la defensa permanente e inalterable de toda barra de acero que vaya a quedar empotrada, recubierta o, simplemente, expuesta a la intemperie.

5.3.1.2. Agregación de barras de hormigón

El hormigón armado presenta como importante ventaja el que, por su capacidad de autoprotección en muy diversos frentes, tiene resueltos los problemas de defensa frente al fuego y frente a la corrosión. Pero su empleo conlleva la presencia de barras con secciones importantes, hecho que repercute -plástica y funcionalmente- en una mayor interferencia de las nuevas estructuras con los espacios libres y/o volúmenes tratados. Además, la puesta en obra del hormigón armado siempre resulta más engorrosa y lenta que el montaje de los perfiles de acero.

Cuando se quiere que una nueva estructura de hormigón quede totalmente empotrada, cabe la posibilidad de que las cajas y/o rozas practicadas en el muro sirvan, total o parcialmente, como moldes para conformar las barras. Si se adopta esta tecnología, las sucesivas tareas son: limpieza de los vacíos, humectación prudencial de sus paredes, embadurnado de las mismas con lechada de cemento (mejorada

con algún aditivo adherente), colocación de armaduras y separadores, obturación frontal de cada hueco mediante un encofrado (un poco sobremedido, para que desborde lateralmente la roza), aseguramiento de este encofrado, recercado de su perímetro con silicona y, finalmente, vertido del hormigón.

5.3.1.3. Solidarización muro-estructura

Para que estos procedimientos de agregación de estructuras resulten eficaces, hay que conseguir la plena solidarización entre los elementos sustentados (existentes) y los sustentantes (agregados).

Este objetivo solamente puede alcanzarse a través de una interacción —tan uniforme, continua y perfecta como sea posible— entre el muro afectado y la nueva estructura.

Para que se verifique esa imprescindible interacción, solidarizadora de muros y barras, hay que disponer —repetida y generosamente— unos dispositivos de conexión. Éstos pueden resolverse mediante dos distintas c1ases de tecnologías:

Físicas: ménsulas, agujas, puentes, bulones, tornillos de expansión..., aplicadas sobre una serie de puntos concretos. (Barras en cajas).

Químicas: morteros, adhesivos..., aplicados sobre una serie de planos concretos. (Superficies en contacto).

Para llevar a término las tecnologías físicas, hay que abrir unas cajas perpendicularmente a la cara del muro y, en cada una de ellas, alejar ajustadamente y recibir una barra «de segundo orden» que, por uno de sus extremos o por los dos, esté firmemente sujeta a una barra «de primer orden» de la estructura agregada. Las tipologías de estas barras son (Tabla 5.3):

Tabla 5.3. *Estructuras de primer y segundo orden.*

Barras de primer orden (estructura agregada)	**Trabajan primordialmente**
Soportes	Comprimidos
Vigas	Flexionadas
Riostras	Traccionadas
Barras de segundo orden (elementos de conexión)	
Ménsulas	
Agujas	En voladizo. (Robustas, pocas)
Puentes	En voladizo. (Menudas, muchas)
Bulones	Flexionados
Tornillos	Traccionados
	A esfuerzo cortante

Juan Antonio García Esparza
ISBN: 978-84-17429-28-7
Proyectos II. Técnicas de conservación y mantenimiento - UJI -
DOI:http://dx.doi.org/10.6035/Sapientia144

Para llevar a término las tecnologías químicas, hay que preparar unos amplios y limpios planos de contacto entre los muros afectados y las estructuras aqreqadas. Resulta evidente que, por mucha que sea la eficiencia de los materiales y/o productos que se empleen para conseguir la adherencia en las conexiones, todas las soluciones que dejan la estructura adosada a la cara del muro siempre son de menor rendimiento que las que desarrollan estructuras parcial o totalmente empotradas. Efectivamente, una estructura adosada colabora a través de unas conexiones que trabajan exclusivamente a cortadura, mientras que otra que esté embebida trabaja, además, a empotramiento.

5.3.2. Tirantes

Un tirante es una pieza metálica o de madera que se inserta en el sistema estructural para absorber las deformaciones de las paredes y los esfuerzos horizontales que provocan arcos, bóvedas o estructuras de cubierta.

Los tirantes están formados por dos componentes, los anclajes, que recogen las tensiones en las paredes, y el tirante propiamente dicho, o tallo de madera o metálica, que las contrarresta trabajando siempre a tracción. A menudo encontramos una solución mixta, en la que los anclajes metálicos se complementan con las vigas de madera de los techos.

Hasta el siglo XVIII los tirantes fueron generalmente de madera y se utilizaban para esta función maderas muy resistentes, el hierro forjado desplazó la madera por su menor sección y por su facilidad de tesado. Hay una amplísima variedad de tipos y modelos de anclaje que van desde la simple tallo transversal hasta las piezas decorativas o de gran superficie de transmisión. Pueden ir vistos o empotrados en la pared. Como consecuencia de su misión, los anclajes producen unas tensiones importantes en la zona de la pared donde se sitúan a tener muy presentes a la hora de instalar y comprobar previamente que sea capaz de absorberlas (figuras 5.1 y 5.2).

Otro componente significativo de los tirantes son los dispositivos de tesado que, en el caso de los de madera, eran unos cuñas de madera muy dura y, en los metálicos, al inicio se usaban simples pasadores calentando el tallo, cuñas de hierro forjado y más recientemente roscas, tensores de rosca invertida y otros.

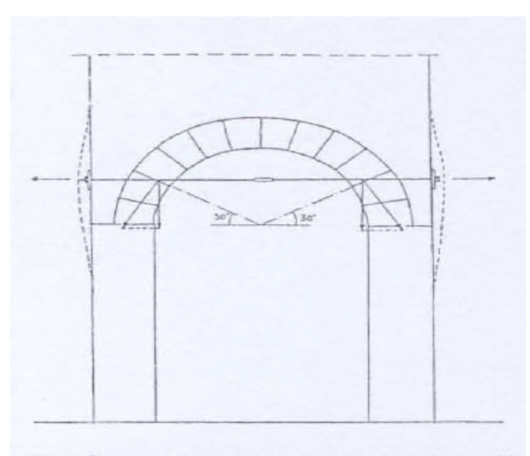


Fig. 1. En aquest esquema podem veure la funció dels tirants, que absorbeixen les tensions horitzontals que incideixen a la paret i eviten la seva deformació. L'alçada a què situem els tirants, en relació a l'arc o volta, resulta fonamental de cara al seu comportament.

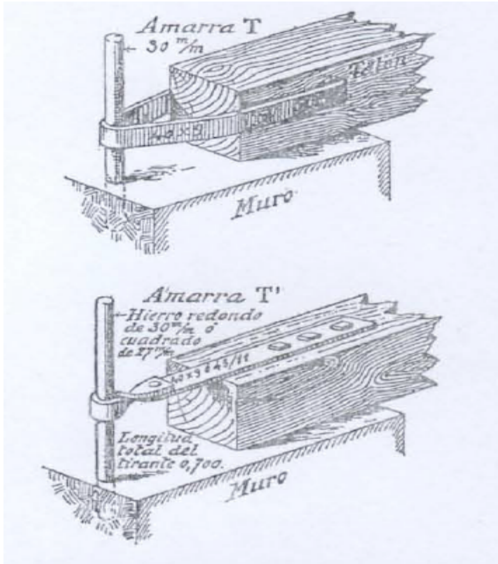


Fig. 2. En tractats de construcció podem trobar sistemes d'ancoratge força interessants, amb la utilització de les pròpies bigues de fusta com a tirants. La solució millora molt el comportament de tot el sistema estructural (E. Barberot, *Tratado práctico de edificación*. G.Gili, Barcelona, 1921).

Figuras 5.1. y 5.2. Atirantado de un arco y detalle en extremo.

Los tirantes han sido tradicionalmente unas prótesis visibles externamente. Actualmente, sofisticados sistemas de perforación permiten atirantar elementos estructurales de pequeñas y grandes dimensiones escondiendo la pieza en el interior, con las ventajas y riesgos que ello comporta.

Los sistemas de tesado, en los extremos o en la zona central, fijos o que permitan un tesado periódico, son muy variados y hay que escoger en función de cada caso.

Así, los tirantes son unas barras o unos tubos de acero traccionados. Para evitar que en el entorno de cada fijación de un tirante sobre un muro, éste sufra efectos de punzonamiento, debidos a la concentración de tensiones, todas las extremidades «de cabeza» de los tirantes deberán actuar previa interposición de alguna pieza de reparto, también de acero (placa, perfil, pieza especial, etc.), que puede dejarse vista o que puede ocultarse en rozas o cajas preparadas en el seno de las fábricas.

La materialidad de la entrega activa de la cabeza de los tirantes sobre esas piezas de reparto se puede hacer de muchas maneras, como son las siguientes:

- Por soldadura directa de la barra sobre la pieza de reparto.
- Formando en la extremidad del tirante una cabecilla-tapón maciza, que es retenida por la pieza.
- Formando en la extremidad del tirante una cabecilla perforada por tabla, que se complementa con una clavija-cuña pasante.
- Roscando (con un paso reducido) la extremidad del tirante y disponiendo, sobre la pieza de reparto, tuercas y contratuercas. Esto es lo más frecuente

y fácil. El bloqueo de seguridad de las tuercas se consigue con grapillas, arandelas dobladas, fileteados deformables, adhesivos e incluso puntos de soldadura.

Para que la reparación sea eficaz, la otra extremidad de cada tirante —extremidad «de pie»— debe quedar eficaz y definitivamente retenida por el elemento firme elegido o preparado, cuyas particulares características constructivas impondrán el procedimiento de anclaje o lo condicionarán fuertemente.

- Todas las que —al igual que para los anclajes de cabeza— utilizan piezas de reparto, con toda su variedad de técnicas y de elementos complementarios.
- Todas las resueltas por unión directa, soldadura o empernado, a organizaciones estructurales metálicas.
- Todas las resueltas por unión directa, soldadura o empernado, a elementos metálicos que actúen como conectores con organizaciones estructurales de hormigón armado.
- Todas las resueltas embebiendo el extremo del tirante en el seno de una importante masa de fábrica o de hormigón. La seguridad de estos anclajes se consigue con la geometría del propio tirante, o con la agregación de armaduras o de perfiles complementarios.

Con total independencia de sus sistemas constructivos y de los modos de entrega de sus extremos, todos los tirantes deben ser puestos en la carga, si se quiere que se conviertan en elementos mecánicamente activos. Y esto se logra a través de su tensado, conseguido mediante algún dispositivo, sencillo o complejo, que permita acortar la longitud de la barra o tubo de un modo bien controlado: continuo, uniforme, paulatino.

Es importante advertir que, cuando una intervención incluye un buen número de tirantes reunido en un volumen de edificación limitada, conviene que la puesta en carga de todos ellos se haga simultáneamente, situando un operario en cada dispositivo tensor y procediendo muy poco apoco y muy despacio (una pequeña actuación cada cinca o diez minutos) a la orden de unas señales acústicas dadas por la Dirección Facultativa. Durante todo el proceso de tensado, los técnicos, encargados y capataces deben situarse y permanecer en los puntos más conflictivos, constituyendo un equipo de observación y control.

5.3.3. Empresillado

Frente a una carga excesiva, los machones, pilares y elementos estructurales verticales pueden sufrir un fenómeno de aplastamiento, apareciendo en este caso las típicas fisuras verticales de compresión que indican el aplastamiento progresivo del material y su ensanchamiento transversal. Este aplastamiento se puede paliar cinchando el elemento afectado con anillos o presillas metálicas, una técnica tradicional empleada desde muy antiguo.

El empresillado consiste en colocar pletinas alrededor de los machones, pilares o elementos verticales cerrándolas con soldaduras o sistemas en frío. Se puede recurrir al calentamiento previo del metal para cerrar el empresillado, pero conviene tener cuidado de que La contracción del enfriamiento no produzca demasiada tensión en la fábrica ya afectada por el fenómeno del aplastamiento. Igualmente, en casos de exposición a la intemperie, existe el problema de la dilatación y contracción térmica del empresillado que introducen variaciones en la longitud de la pletina generando cambios en las acciones de contención, tornándolo ineficaz o demasiado tenso. Es necesario garantizar un buen contacto entre la presilla y la fábrica construida, bien directamente si es posible, bien a través de mortero expansivo o cuñas de madera. En el caso que se estime procedente.

Otras formas de empresillar un elemento vertical consisten en disponer bandas de fibra de carbono en vez de con pletinas de acero. La flexibilidad de estas bandas permite adaptarse a las complejas geometrías de la arquitectura histórica. Las características técnicas de las fibras de carbono permiten secciones muy pequeñas respecto al empleo del acero y por consiguiente, un impacto visual menor sin renunciar a la reversibilidad de la actuación.

Previamente a la aplicación se deben regularizar las esquinas para que no haya puntos que sobresalgan ni entrantes, y asegurarse de la buena cohesión de los materiales que van a ser fajados. Es necesario además redondear las esquinas al menos obteniendo un radio de un par de centímetros (a mayor radio mejor resultado). La aplicación se inicia con una imprimación a la que se le superpone el adhesivo aumentando su cantidad en las esquinas. Posteriormente, se le aplica el tejido o la cinta de fibra de carbono presionando con un rodillo y, finalmente, se extiende un protector.

5.3.4. Zunchos

Los zunchos son elementos de madera, metálicos, o de hormigón armado, que recorren el sistema de paredes en toda su longitud, formando unos cinturones, generalmente a la altura de los techos.

En el caso de los de madera, constituyen un buen sistema de traba horizontal, pero representan una ruptura en la continuidad vertical de las paredes y pueden comportar los problemas habituales de la madera introducida en las paredes; donde mejor se comportan es en el coronamiento de la pared y haciendo de base a la estructura de la cubierta. Los metálicos no son más que tirantes situados paralelamente a las diferentes paredes por una sola cara o por las dos, en muchas construcciones medievales se encuentran insertados en algunas hiladas, formando lo que podemos llamar una pared armada.

Actual mente, en las obras de rehabilitación y restauración, los aros que se utilizan como refuerzo son los de hormigón armado. Consisten en insertar una armadura de sección variable en el grosor de las paredes, posteriormente rellena con hor-

migón. Su ejecución a la altura de los techos, pese a la facilidad de adaptación de la carcasa metálica y del propio hormigón, presenta muchos problemas, ya que resulta difícil obtener una buena continuidad de la sección sin debilitar sensiblemente la pared. La construcción de cercos a nivel de cubierta resulta más sencilla y siempre muy efectiva para edificios de poca altura.

5.3.5. Contrafuertes

En contraposición al planteamiento comentado en los tirantes, que trabajan a tracción, están los contrafuertes que tienen como misión absorber los mismos esfuerzos, pero en este caso haciendo trabajar sus componentes a compresión.

Los contrafuertes son ampliaciones puntuales o lineales de las paredes, situados en los puntos concretos de deformaciones o tensiones para recoger y llevar la resultante inclinada que incide en este punto hasta el terreno. En construirlos, hay que tener muy presente este hecho y poner las hiladas en el sentido perpendicular a las tensiones que soportarán, para evitar esfuerzos de f1exotracció en los morteros y en las piezas.

Otro punto delicado de los contrafuertes es el de conexión con la pared existente y hay que hacerlo con mucho cuidado buscando conseguir una traba correcta entre los dos elementos, evitando el punzonamiento en la zona superior.

Los contrafuertes han sido muy utilizados a lo largo de la historia dentro de los procesos constructivos y como sistemas de reparación, con el objetivo de absorber los esfuerzos horizontales que tantos problemas ocasionan en los edificios de construcción tradicional.

5.3.6. Cosidos i grapados

Las lesiones y discontinuidades de la fábrica se pueden suturar con ayuda de mortero de cal, retacando las mismas, si se estima que la causa de la lesión ya no está activa, o se pueden coser con ayuda de elementos auxiliares, si se estima que la causa de la lesión no está totalmente eliminada y, aunque se haya subsanado la causa de partida, se prevean todavía pequeños movimientos. La decisión de la metodología a adoptar dependerá de un análisis patológico exhaustivo que sufre tanto el sistema constructivo como el edificio en su conjunto.

Una pequeña fisura en el enlucido de una fábrica puede llegar a esconder una lesión acumulada y cancelada sucesivamente en el tiempo y que eventualmente pueda corresponderse con alguna otra patología de mayor entidad que sufre el edificio. Si se da este caso, estas patologías no se solucionarán con un simple cosido.

El cosido de las lesiones se puede realizar con elementos de la misma fábrica ladrillos, sillares o mampuestos reaparejados o se puede acometer con ayuda de

ISBN: 978-84-17429-28-7

DOI:http://dx.doi.org/10.6035/Sapientia144

llaves de madera o metálicas, con el inconveniente de que las primeras generan heridas en la fábrica y la segunda está sujeta a corrosión si no se trata el metal adecuadamente.

Según lo dicho, cuando se ha producido una fractura o una grieta en una pared y una vez hemos conseguido estabilizarla actuando sobre las causas que lo han provocado, nos queda una herida o un corte en el sistema que nos invalida el funcionamiento como conjunto. Es necesario corregir esta carencia sellando o rellenando el vacío y cosiendo o grapando la lesión.

La intervención mínima será el sellado superficial de la grieta en sus caras externas, lo que tendrá un efecto de protección contra la entrada de agua u otros elementos agresivos en el interior de la pared, pero no tendrá ningún efecto de tipo mecánico en el futuro comportamiento. El sellado, una vez limpiada la grieta, se ha hecho tradicionalmente con morteros, si bien ahora se pueden usar resinas y siliconas.

Resulta aconsejable, en estos casos, rellenar toda la sección de ruptura ya que, aunque resulte más complejo, mejora mucho el resultado. Las técnicas para realizar esta tarea se describen en el apartado de consolidación.

Solidarizar las dos partes en que se ha separado la lámina de pared para recuperar la continuidad estática, requiere conectarlas mediante ligaduras de obra, de madera o metálicas.

Las ligadas de obra consisten en desmontar la pared formando traba. Siguiendo la zona rota, y reconstruirla con nueva pared bien trabada, generalmente de ladrillos. En estas operaciones, realizadas en paredes débiles, hay que tener cuidado de no desencadenar un colapso y hay que trabajar por zonas reducidas. Estas ligadas aplican mucho en paredes de tapia y de piedra de doble hoja, el gran grueso de las cuales hace difícil otro tipo de cosido.

Las ligadas de madera también se han utilizado históricamente intercalando piezas de madera muy resistente en el sentido de las hiladas en el momento de la construcción.

Las grapas metálicas han sido y aún son los elementos más utilizados para coser las grietas. Consisten en unas piezas en forma de U, de sección circular o rectangular, que empotrar cada una de sus patas a uno y otro lado de la grieta y se fijan con mortero. Hay una gran variedad de modelos de grapas y se pueden colocar en la superficie de la pared, vistas o dentro de una regata, disimuladas superficialmente. Suelen tener entre 25 y 35 cm y la separación entre grapas oscila entre los 30 y los 50 cm.

Actualmente, en el cosido de grietas, resulta bastante habitual la utilización de las técnicas de retícula cimentada, perforando y conectando los dos tramos de paredes que quedan a uno y otro lado de la grieta.

Otra técnica similar se denomina bulonado y consiste en practicar una serie de perforaciones sensiblemente perpendiculares al paramento, que taladren varios elementos componentes del conjunto-muro, e insertar, dentro de cada una de ellas, un espárrago de acero que, una vez postensado, ate los elementos taladrados, unos contra otros.

Como ejemplo de intervención en la que convendría hacer un bulonado, puede ponerse la reparación de un muro compuesto por una mampostería de piedras pequeñas, sentadas en seco (o con un aglomerante muy pobre) conforme a un aparejo de poca traba y que, para colmo, estuviera sometido a unas sobrecargas importantes.

Según se pueda y/o convenga, las perforaciones serán pasantes, de cara a cara del muro, o se dejarán en fondo de saco, interrumpidas en pleno seno del muro. Los bulones se fabrican con barras de acero de alta calidad y, además, en evitación de que puedan padecer efectos expansivos.

En cada uno de los dos extremos de todo bulón pasante, se colocan un elemento de reparto de las tensiones (una placa, una arandela fuerte, etc.) y el correspondiente juego de tuerca y contratuerca de seguridad. A continuación, se procede a postensar el bulón, para ponerlo en carga, operación que, la mayoría de las veces, se efectúa mediante el simple atornillado de las mencionadas tuercas. Cuando un bulón entra en carga, comprime unos contra otros todos los elementos del muro que hayan sido atravesados por la correspondiente perforación, solidarizándolos.

La eficiencia de todo bulón embebido pasa, indefectiblemente, por un firmísimo anclaje de su extremo interno en el fondo de su correspondiente perforación de entrega.

- Conformar adecuadamente el extremo interno del bulón, de modo que se evite su deslizamiento, y recibirlo con un mortero sin retracción, inyectado o simplemente colada en la perforación.
- Conformar igualmente el extremo interno del bulón y embeberlo en una masa de resinas de tipo epoxídico.
- Utilizar cabezas de expansión, actuadas por el atornillado del bulón. Estas cabezas son unas complejas tuercas deformables cuyo funcionamiento es análogo al de los tacos expansivos de nylon, de común uso doméstico.

Cuando ya está puesto en carga, todo bulón embebido funciona dentro de su perforación como si fuera un anclaje postensado alojado en su camisa.

Por lo tanto, concluida la instalación de este tipo de bulones, hay que precaverse frente a su eventual deslizamiento y la mejor solución para ello consiste en rellenar y macizar los vacíos que quedan entre cada barra de acero y las paredes de la correspondiente perforación. En resumen, todo bulonado ciego bien hecho debe

rematarse con el retacado en cada taladro mediante una inyección de mortero sin retracción, adicionado de adhesivos.

5.4. *Consolidación*

La regla fundamental para la consolidación estructural de los muros es el respeto tanto de sus características isostáticas que le permiten acomodarse eventualmente a los pequeños movimientos de adecuación y asentamiento de la fábrica, como de su carácter transpirable que permite un flujo natural del vapor de agua entre interior y exterior. En definitiva, el respeto a la estructura existente en su conformación y forma de trabajo original.

Cualquier operación de consolidación estructural, ya sea de rejuntado, recomposición, mejora de traba interna, reintegración de faltas. etc. debería plantearse para respetar la materialidad original del muro y no interferir en su funcionamiento.

Por lo tanto, en las situaciones en que la capacidad interna de las paredes se ha debilitado o resulta insuficiente para soportar las cargas existentes, se produce un aplastamiento y unas grietas verticales de compresión, que podemos corregir incrementando la capacidad de la pared en este punto. Las técnicas aplicables en este caso consisten en la mejora de la calidad de la pared, o en su reconstitución.

5.4.1. Recomposición y reintegración de faltas en los muros

Las reintegraciones parten siempre de una limpieza manual realizada normalmente en seco con cepillos de cerdas vegetales en las zonas donde el material haya desaparecido o esté disgregado. Y se remata con la eliminación del polvo y el material descohesionado mediante la aplicación de aire a presión. Posteriormente y en forma de replanteo, se ensaya la colocación de los nuevos elementos sin mortero para prever el resultado final y ajustar su dimensión.

5.4.2. Relleno de huecos

La introducción de materiales ligantes en el interior de las paredes, para llenar los vacíos y desplazar otros materiales de baja calidad, conlleva una mejora cualitativa de la resistencia, siempre que se aplique en una superficie suficientemente amplia.

Tradicionalmente, estos trabajos se hacían, y todavía se hacen, dando presión sólo por gravedad y utilizando morteros fluidos de cal o de cemento. Últimamente, se han incorporado las técnicas de inyección a presión y al uso de resinas sintéticas, bentonita y otros materiales consolidantes.

La idoneidad de este sistema depende del tipo de pared en el que se debe actuar. En este sentido, podemos considerar tres posibilidades:

- Paredes abiertas, que pueden admitir la infiltración de material cimentando, más allá del 10 % de su volumen.
- Paredes cerradas, que pueden admitir la infiltración de entre el 5 y el 10 % de su volumen.
- Paredes no infiltrables, que admiten infiltraciones menores al 5 % de su volumen.

Las primeras son las adecuadas para los métodos de gravedad, las segundas sólo con inyecciones a presión y las últimas, salvo algunos casos, no son tratables por esta vía.

Hacer entrar los materiales ligantes para ir cubriendo los huecos de la pared resulta una tarea compleja que debe hacerse por tramos de dimensiones reducidas, de acuerdo con la calidad de la pared y con los apeos necesarios para evitar deformaciones no deseables. El proceso se irá siguiendo de abajo hacia arriba, consolidando siempre sobre elementos ya consolidados y suficientemente endurecidos.

El procedimiento a seguir en trabajos de relleno por gravedad con aglomerantes o morteros fluidos se puede sintetizar en los siguientes pasos:

1. Repicado del revoque y sellado de las juntas.
2. Instalación ó los sistemas provisionales de apuntalamiento durante los trabajos.
3. Preparación de las bocas de entrada del líquido.
4. Colocación de barras metálicas insertadas transversalmente y longitudinalmente a la pared en diferentes juntos.
5. Infiltración de agua de limpieza, previa a la introducción del material aglutinante.
6. Preparación del material aglutinante con la dosificación y fluidez adecuadas a las características internas de la pared.
7. Primera infiltración.
8. Tiempo de toma y consecuente retracción del aglutinante.
9. Segunda infiltración para cubrir los huecos dejados por la retracción.
10. Reinicio del proceso en la zona siguiente para tratar.

El proceso de inyección a presión tiene las mismas características que el de gravedad, si bien requiere más precauciones al hacer las infiltraciones, ya que la presión excesiva o descontrolada puede dañar la pared.

Tal como se desprende de la descripción hecha en estos tratamientos se somete la pared al paso de grandes cantidades de agua, lo que los hace inviables en algunos casos y siempre requiere un largo tiempo de secado.

En el caso de paredes muy regulares y de baja permeabilidad a los morteros, cabe plantearse inyectar resinas a alta presión, lo que permite llenar los huecos y adherir las zonas fracturadas.

Los resultados que se obtienen con el relleno de los huecos de las paredes con inyecciones de gravedad o a presión, son muy interesantes, y se logra un incremento considerable de la resistencia sin modificar sustancialmente ni las características del elemento originario ni el esquema de cargas del conjunto.

Para obtener buenos resultados hay que tener una precaución muy especial en la elección del mortero o material cementado idóneo para cada caso y del sistema más adecuado de inyección, que permitan una mejor difusión a todos los huecos de las paredes.

Dado que el grado de incertidumbre que permiten las técnicas de inyección para garantizar la calidad de una operación, resulta imprescindible el estudio previo y posterior de la pared, que permita valorar los resultados obtenidos y la efectividad del tratamiento. Los sistemas de ensayo no destructivos más utilizados son: las pruebas sónicas, ultrasónicas y la tomografía, que permiten comprobar cualitativamente el estado de la pared antes, durante y después de la inyección, en general, se suele complementar estos ensayos con la extracción de algunas probetas testigo para ver el grado de desagregación inicial y el grado de cimentación posterior, así como con perforaciones pequeñas para el control endoscópico.

De cualquier forma, estas técnicas de inyección resultan plenamente indicadas para las reparaciones de los muros muy antiguos, cuyas calidades mecánicas y constructivas suelen ser muy bajas.

- Los muros de mampostería macizos y las masas internas de los muros careados con sillería suelen contener un elevada número de piezas secundarias más bien menudas (calzos, cuñas, ripios, tacos•...) y un gran porcentaje de huecos, a veces hasta un 5 % y más de su volumen general, plenamente intercomunicados entre sí.
- Las masas internas de los muros de fábrica de ladrillo macizo suelen contener un elevado número de piezas de relleno menudas (ladrillos rotos, trozos de ladrillo, etc…), descuidadamente sentadas, por lo que quedan muchos huecos entre ellas.
- Los propios materiales suelen ser muy vulnerables. La piedra y/o el ladrillo son blandos y disgregables o bien resultan quebradizos.
- Los aglomerantes más antiguos suelen ser, salvo rarísimas excepciones, bastante deleznables. Por ejemplo, simples pastas de tierra arcillosa, o barros arcillosos con un árido cualquiera.

Algunos son tan malos que lo mismo absorben hasta un 15 % de agua en peso, que se desintegran, se pulverizan y se caen sin más agresión que la radiación solar.

- Los únicos aglomerantes algo mejores son unas argamasas pobres de cal y arena de miga (1:10), o unos morteros bastardos de cemento natural, cal y arena de miga (1:0.25:8).

- Los rejuntados suelen ser de argamasa de cal y arena de río muy fina, seleccionada por cribado (1:5), aplicada hasta enrasar los haces de fuera.
- Los revocos exteriores suelen constar de una capa de base hecha con argamasa de cal y arena de miga gruesa (1:5), doblada con una segunda capa, también de argamasa con idénticas proporciones, pero amasada con arena de río muy fina, seleccionada por cribado.

Entre las muchas ventajas que ofrece el procedimiento de solidarización interna por inyección de algún aglomerante o adhesivo en los vacíos, huecos e intersticios de los muros (y hasta en los poros de los materiales) destacan las siguientes:

- No hay que hacer movimientos de desmontaje ni de remontaje de ningún elemento constructivo.
- Las piezas vistas de las caras exteriores del muro quedan fijas en sus ubicaciones.
- Siempre se pueden aprovechar todos los elementos constructivos, incluso los que estén rotos.
- Hay una razonable garantía de que el macizado de los vacíos internos sea continuo y completo.

Para que un proceso de inyección culmine con éxito, hay que atender a una serie de condicionantes fundamentales que son los siguientes:

- Que el fluido de aportación sea el adecuado para el caso.
- Que el fluido de aportación no sufra ningún freno ni ningún taponamiento (detención) en su avance por el interior del muro.
- Que no se produzcan fugas ni pérdidas del fluido de aportación a través de las juntas, o del terreno o de las redes e instalaciones.
- Que el proceso de penetración del fluida (sobre todo, si se desarrolla baja presión) tenga un permanente control manométrico y cuantitativo-volumétrico, para no producir daños secundarios.

Un exceso de presión puede causar roturas interiores (falsas vías), saltada de revocos y recalada de juntas. Siempre que resulte posible, se inyectará por simple gravedad o a muy baja presión.

Un exceso de liquido (generalmente, agua) puede causar entumecimientos, socavamientos e inclusa descalces de la cimentación.

- Que, mientras dura la intervención y también a obra concluida, se hagan periódicas verificaciones y mediciones de los resultados que se vayan obteniendo por el beneficioso efecto de las inyecciones.

Para hacer este seguimiento, hay tres técnicas principales: la extracción de testigos inalterados (cuando la clase y el estada del muro lo permiten), la auscultación de la propagación de sonidos a través de las fábricas y el análisis de la circulación de corrientes eléctricas por la masa del muro.

5.4.2.1. Clases de fluido de aportación

Los f1uidos de aportación más usuales se pueden agrupar en dos conjuntos:

Lechadas y morteros de toda índole, que se aplican a través de las denominadas inyecciones cementícias o de cementación.

Soluciones, suspensiones y emulsiones de diversos productos químicos, que se aplican a través de las denominadas inyecciones químicas, o de solidificación.

A pesar de esta distinción tan clara, en la práctica de obra todos los fluidos reciben el nombre genérico de «lechadas».

Condicionantes de las lechadas:

1. Estabilidad durante el proceso de inyección.
   Una lechada recibe el calificativo de estable cuando es o bien una disolución no sobresaturada de un producto, o bien una suspensión perfecta de unos granos pequeñísimos en un medio líquido de caracteres acuosos. En una lechada estable no se producen segregaciones entre los sólidos y el vehículo liquido.

2. Fluidez constante durante todo el proceso de inyección.
3. Duración suficiente del tiempo de manejabilidad, lo cual exige que las reacciones de endurecimiento estén perfectamente controladas.
4. Posibilidad de una inyección eficaz a presiones bajas y medias, en un intento de evitar la forzosa aplicación de altas presiones.
5. Características físicas parecidas a las de las fábricas receptoras, principalmente en lo referente a resistencia, coeficiente de dilatación y porosidad.
6. Buena adherencia a las superficies definitorias de los vacíos a rellenar.
7. Mínima retracción en el fraguado.
8. Características químicas que no favorezcan la agresión entre la lechada y las fábricas receptoras, ni viceversa. Los mayores riesgos de agresión se concretan en los fenómenos de deslavado y disolución.
9. Estabilidad física-química y durabilidad frente a la intemperie y en el tiempo.

5.4.2.2. Lechadas más usuales

Las lechadas más usuales son las siguientes:

Cementicias bicomponentes, lechadas.

1. Cal pura y agua. Muy inestable. Las fábricas actúan como filtros y enseguida se produce la segregación: las partículas no progresan y la inyección se bloquea pronto.

2. Cemento puro y agua. Resulta de aplicación todo lo reflejado para cal pura y agua.

Cementicias tricomponentes, morteros.

1. Cemento, bentonita y agua, con aditivo f1uidificante de gluconato sódico. Muy estable. Es una suspensión de cemento y arcilla coloidal, muy fluida y ligeramente tixotrópica (expansiva). Sin presión alguna, colmata todos los huecos cuyo diámetro sea superior a los 0,30 mm.
2. Cemento, árido micromolido y agua, con aditivo fluidificante-tixotrópico de arcillas expansivas (un 3 %). Su inyección es incómoda y exige importantes presiones, pero permite alcanzar resistencias muy altas.

Otras lechadas:

- Lechadas químicas monocomponentes
- Lechadas químicas bicomponentes de silicatación.

5.4.3. Pasadores transversales

Las paredes de doble hoja menudo no tienen ligadas transversales que garanticen el trabajo solidario; esto conlleva una mala distribución de las tensiones en la superficie de la sección y la deformación localizada en forma de bombeos.

Solidarizar las dos caras es un valor añadido que se comentaba en el apartado anterior. Aquí es el objetivo prioritario, mediante la colocación de pasadores de piedra, de madera o metálicos í con otras técnicas de cosido actuales, que en este campo tienen un desarrollo importante.

Los pasadores de madera y de piedra son unas piezas de la misma longitud que el espesor de la pared y que se insertan formando una traba. Actualmente, esta alternativa tiene pocas aplicaciones si no se procede al desmontaje de la pared.

Los pasadores metálicos son una especie de tirantes que van de un lado al otro de la pared y la atan la zona debilitada (Ver bulonado).

Los pasadores de madera y de piedra juegan un papel más preventivo o de mejora, mientras que los metálicos pueden actuar contrarrestando y reduciendo las tensiones existentes en el seno de la pared y aumentando la capacidad de carga.

Los agujeros que se deben hacer en la pared para pasar las clavijas deben ser de sección reducida, y da mejor resultado hacer algunos pequeños que uno grande.

5.4.4. Revestimiento armado

Esta técnica consiste en la construcción, en las caras de la pared, de una placa de hormigón armado con malla electrosoldada. Esta placa adosada con la ayuda de un encofrado, o proyectada, debe estar perfectamente conectada a la pared existente ya la placa que se sitúe en el lado opuesto, formando un sándwich.

Las placas de hormigón deben establecer un buen contacto con la superficie de la pared y es por eso que, previamente a su construcción, se procederá al repicado y la limpieza de los revestimientos que haya.

El grueso de las placas no debe ser inferior al 5 cm si queremos obtener un buen comportamiento y, en general, superior at 120 de la pared a reforzar.

Esta técnica resulta un buen complemento de la de los pasadores transversales, ya que consigue una conexión idónea entre las dos caras de las paredes y produce un confinamiento de la misma, mejorando su capacidad para soportar esfuerzos de compresión.

La consolidación mediante el revestimiento de la pared con dos placas conectadas, si se dimensiona correctamente, da unos resultados excelentes, sobre todo, si valoramos la mejora que obtenemos y el relativo bajo costo ya que no se requieren ni herramientas ni personal especializado.

En estudios recientes, realizados en Italia, se ha comprobado como los resultados que se pueden obtener con esta técnica son muy buenos, siempre que se haga con las dos caras conectadas. También se comprobó en el mismo estudio que la realización de revestimientos armados en una sola cara de la parte, no produce ningún tipo de mejora en su comportamiento estructural.

5.4.5. Retícula cimentada

Siguiendo a grandes rasgos la filosofía del cosido que se plantea en la consolidación mediante pasadores transversales, y aplicando las posibilidades de la perforación de pequeño diámetro con gran longitud y de las barras conectadas, se ha desarrollado una de las técnicas actualmente más utilizadas en la consolidación de paredes.

La técnica consiste en la perforación de la pared en múltiples direcciones y en la introducción de barras de acero que posteriormente se fijan con morteros. Las perforaciones son de 30/40 mm y las barras de 10/20 mm de diámetro.

Para evitar la visión de la intervención realizada, las perforaciones se hacen oblicuas, coincidiendo con las juntas. La introducción de retículas cementadas en las paredes, las rigidizar y les da un comportamiento unitario, lo que representa una mejora de la capacidad de trabajo al mismo tiempo que altera el funcionamiento inicial de estos elementos estructurales.

Utilizando la misma técnica, encontramos los sistemas postesados, consistentes en la introducción de cables en las perforaciones hechas en las paredes en el sentido vertical, horizontal u oblicuo, para crear una tensión de compresión en el sentido deseado y así evitar un posible deslizamiento. También en este caso, una vez obtenida la tensión deseada, se inyecta pasta cimentando a la perforación.

La utilización de estas técnicas exige una valoración previa de las posibilidades de aplicación y de las consecuencias que puede producir. Hay que disponer de sistemas de perforación poco traumáticos y que controlen perfectamente el agua que usan, así como de las pastas cementantes adecuadas a cada situación.

5.4.6. Desmontar y volver a montar

Cuando por la situación límite de deformación las técnicas comentadas no puedan ser aplicadas, podemos decidir por la sustitución de zonas puntuales, desmontando y volviendo a montar la parte degradada.

Estas operaciones suelen ser delicadas, ya que actúa en lugares muy debilitados y requieren medidas auxiliares de apuntalamiento importante, e incluso en algunos casos una consolidación previa a la operación de desmontaje.

También hay que tener muy presente, al realizar los trabajos, de asegurar la traba longitudinal y transversal de los nuevos elementos con los existentes.

5.5. *Reformas: apertura de huecos*

Una necesidad que habitualmente se plantea en hacer intervenciones en edificios con estructura de paredes de carga es la de abrir agujeros o hacerlas desaparecer en la planta baja para dejarla diáfana (figura 5.3).

La realización de estas intervenciones a menudo se afronta sin una valoración previa de sus posibles consecuencias, a pesar de que requiere una serie de precauciones iniciales, teniendo presente que:

- Se modificará el estado de cargas de los fundamentos y del terreno, o de las paredes que quedan bajo el agujero en caso de plantas elevadas.
- Hay consolidar las paredes en mal estado antes de actuar.
- Las jambas de las aperturas deben estar preparados para soportar la nueva carga prevista.

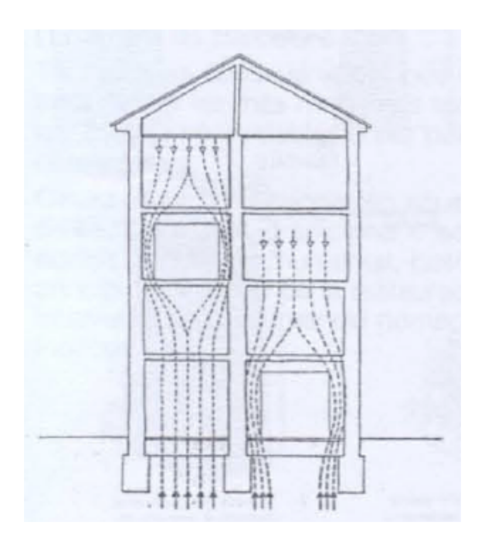


Figura 5.3. Esquema ejemplo de distribución de cargas verticales.

El procedimiento de trabajo a seguir en este tipo de actuación puede sintetizar en los siguientes pasos:

1. Aligerar la estructura de la zona de actuación con sistemas auxiliares para descargarla lo posible, durante la realización de los trabajos.

2. Comprobar los cimientos para la nueva situación, reforzamientos necesario, formación de las jambas o pilares.

3. Establecer un sistema de descarga provisional de la zona de apertura, que será variable según que se haga un dintel metálico de hierro o en forma de arco.

4. Poner en carga este elemento provisional con mucha precaución para evitar movimientos en la pared.

5. Introducir la nueva estructura portante.

    - Con vigas metálicas, que es el sistema más práctico y rápido de trabajo.
    - Con vigas de hormigón, que debido al tiempo necesario para el fraguado resulta un sistema bastante lento y complejo de ejecución, con el que se hace el vaciado de los tramos de forma sucesiva y cuando ya se ha hormigonado el anterior se deja una zona sin hormigonar para las armaduras de conexión.
    - Con arcos de mampostería o ladrillo, que también es un sistema complicado, ya que hay que hacer el vaciado y la formación del arco pieza por pieza.

6. Poner en carga la nueva estructura con mucha precaución (sobre todo en el caso de hormigón).

7. Retirar el sistema provisional instalado.

8. Derribar la parte de la pared afectada por la nueva apertura.

En el caso de apertura en plantas superiores, las precauciones deben ser mayores en el sistema de apuntalamiento, ya que podemos tener muchas dificultades para encontrar una vía de apoyo suficientemente sólida y en valorar el descenso de cargas en la pared inferior.

En este tipo de trabajo, hay que tener una precaución especial en paredes muy heterogéneas o que haya n sido muy reformadas a lo largo de su vida, ya que se podrían producir descensos de cargas no previstos y provocar graves problemas de comportamiento.

5.6. *Técnicas tradicionales y nuevas tecnologías*

Hoy, a nivel de expertos, estamos asistiendo a una reflexión profunda y preocupada, ya una valoración crítica de todos los nuevos sistemas, a los que en los últimos años se les otorgó una total y absoluta confianza.

El uso del hormigón armado ha sido una constante en este último siglo y la colocación de barras de acero también se ha utilizado como solución mágica de muchos problemas, que ha convertido en sistemas rígidos estructuras originariamente elásticas. Este hecho se suma a la pérdida de los conocimientos, por parte de técnicos y operarios, de las técnicas tradicionales y el acercamiento generalizado hacia los nuevos materiales, hierro y hormigón, que ha hecho inviable la adopción de soluciones alternativas.

Ejemplos en este sentido son: las barras de acero colocadas para Batanes a comienzos de este siglo en muchas piezas de mármol del Partenón de Atenas y que desde hace algunos años se están sustituyendo sistemáticamente para titanio debido su corrosión expansiva.

Operaciones más recientes, realizadas en los años setenta y ochenta, de retículas cementadas, de tirantes empotrados, de inyecciones de resinas y de otras técnicas actuales, en algunos casos,s se empiezan a mostrar inadecuadas en cuanto a su compatibilidad con el monumento que se pretendía salvaguardar, su reparación es actualmente un problema mucho más complejo de lo que se quería resolver.

Como respuesta a la situación y con la voluntad de salvar la cultura de la tradición constructiva y de las intervenciones estructurales conformadas a lo largo del tiempo, han surgido diferentes iniciativas dirigidas a obtener y divulgar el conocimiento técnico de las formas de construir y de intervenir en los edificios desde la tradición y el oficio.

La iniciativa más significado a en este sentido son los diversos manuales de recupero italianos, siguiendo la línea marcada por Paolo Marconi, en su voluntad de ser continuador de la extensa tratadística técnica que desde Vitruvio hasta nuestros días ha ido recogiendo formas de trabajar consolidadas para contribuir a divulgarlas. Una lectura atenta de documentos de estas características nos permite ver las posibilidades que tienen y la utilidad que representaría disponer de trabajos similares de centros históricos de nuestro país y de zonas tan amplias y con características constructivas fácilmente clasificables.

Así pues, reflexionar en este sentido e intentar encontrar la solución idónea en cada caso, sea tradicional o actual. Ahora bien, siempre que actuemos en edificios de valor monumental, históricos O artísticos debemos tener presente un principio fundamental de la restauración como es el de la reversibilidad de la intervención o la intervención homeopática, en base a la aplicación de remedios inocuos.

6. Bibliografía

Cecchini, Cecilia. 1999. «Mantenimiento, durabilidad, seguridad y economía» en Díaz, César (Ed). *El mantenimiento de los edificios desde el inicio del proyecto al final de su vida útil*. Barcelona. Col.legi d'Arquitectes de Catalunya.

Coscollano, José. 2003. *Restauración y Rehabilitación de Edificios*. Madrid. Thomson-Paraninfo.

Esbert, Rosa M.ª. 2008. «Técnicas de consolidación y protección de la piedra» en Gibert, Luis Miguel (Ed). *Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales*, tomo 3 (153-160). Munilla-Lería. Madrid.

García Esparza, Juan Antonio. 2004. *Documentación de la Rehabilitación de la Sala lateral junto a la entrada del Mexuar*, Alhambra de Granada. Inédito. Empresa Bados Navarro.

García Esparza, Juan Antonio. 2005. *Documentación de la Rehabilitación de la Iglesia Parroquial de Losa del Obispo*, Valencia. Inédito. Empresa Clar Rehabilitación.

García Esparza, Juan Antonio. 2006. *Documentación de la Rehabilitación del Mercado Central de Valencia*. Inédito. Empresa ISOLUX Corviam.

García Esparza, Juan Antonio. 2007. *Documentación de la Rehabilitación de una Antigua Posada en Torrebaja*, Valencia. Inédito. Empresa Guías de Gúdar.

Gorse, Christopher y David Highfield. 2009. *Refurbishment and Upgrading of Buildings*. London & New York. Spon Press-Taylor and Francis.

Heyman, Jacques. 1995. *Teoría, historia y restauración de estructuras de fábrica.* Madrid. Instituto Juan de Herrera.

Heyman, Jacques. 2004. *Análisis de estructuras. Un estudio histórico*. Madrid: Instituto Juan de Herrera [Traducción del original inglés: Structural Analysis a Historical Approach]. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.

Huerta, Santiago. 2004. *Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica*. Madrid. Instituto Juan de Herrera.

Huerta, Santiago. 2010. *Selección de tratados españoles de Arquitectura y Construcción*, s. XIX. Madrid. Instituto Juan de Herrera.

Huerta, Santiago. 2012. *Las bóvedas de Guastavino en América*. Madrid. Instituto Juan de Herrera.

Labastida, Francesc. 1999. «Las operaciones de mantenimiento y sus plazos en los edificios de viviendas» en Díaz, César. (Ed). *El mantenimiento de los edificios desde el inicio del proyecto al final de su vida útil*. Barcelona. Col.legi d'Arquitectes de Catalunya.

Monjó Carrión, Juan J. y Luis Maldonado Ramos. 2005. *Manual de Inspección Técnica de Edificios*. Madrid. Munilla-Lería.

Olmos, Carlos. 2008. «Patología de la piedra» en Gibert, Luis Miguel (Ed). *Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales*, tomo 3 (131-140). Madrid. Munilla-Lería.

Ripollés, Fernando. 2008. «Reparación y restauración de muros dañados» en Gibert, Luis Miguel (Ed). *Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales*, tomo 3 (193-230). Munilla-Lería. Madrid.

Serrano, Francisco. 2005. *Patología de la edificación. El lenguaje de las grietas.* Madrid. Fundación Escuela de la Edificación.

Truñó, Ángel. 2004. *Construcción de bóvedas tabicadas*. Madrid. Instituto Juan de Herrera.

7. Normativa

7.1. *Código Técnico de la Edificación*

DB-SE-AE Seguridad estructural: Acciones en la edificación
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SE-AE.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.



B.O.E.: 28 de marzo de 2006
Modificado por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007
Corrección de errores.
B.O.E.: 25 de enero de 2008

DB-SE-F Seguridad estructural: Fábrica
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SE-F.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 28 de marzo de 2006
Modificado por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007
Corrección de errores.
B.O.E.: 25 de enero de 2008

Norma de Construcción Sismorresistente: parte general y edificación (NCSE-02)
Real Decreto 997/2002, de 27 de septiembre, del Ministerio de Fomento.
B.O.E.: 11 de octubre de 2002

7.2. *Normas Tecnológicas*

UNE UN 12944. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pinturas protectores

UNE EN 927-1. Materiales de recubrimiento y sistemas de recubrimiento para madera exterior. Clasificación y selección

UNE EN 10 62-1. Materiales y sistemas de recubrimiento para albañilería exterior y hormigón. CLASIFICACIÓN

UNE 41805-3 IN: 2009. Diagnóstico de edificios. Parte 3: Estudios constructivos y patológicos.

UNE 41805-1 IN: 2009. Diagnóstico de edificios. Parte 1: Generalidades.

UNE 41805-2 IN: 2009. Diagnóstico de edificios. Parte 2: Estudios históricos.

UNE 41805-14 IN: 2010. Diagnóstico de edificios. Parte 14: Informe del diagnóstico.

UNE 41805-8 IN: 2009. Diagnóstico de edificios. Parte 8: Estudio patológico de la estructura del edificio. Estructuras de madera.

UNE 41806-1 IN: 2009. Conservación de edificios. Parte 1: Limpieza de elementos constructivos. Parte 1: Clasificación de los métodos de limpieza.

UNE 41806-3 IN: 2009. Conservación de edificios. Parte 3: Técnicas de limpieza mecánica.

UNE 41806-4 IN: 2009. Conservación de edificios. Parte 4: Técnicas de limpieza con láser.

UNE 41806-5-1 IN: 2009. Conservación de edificios. Parte 5-1: Técnicas de limpieza química. Aplicaciones en forma de solución.

UNE 41806-5-2 IN: 2009. Conservación de edificios. Parte 5-2: Técnicas de limpieza química. Aplicaciones en forma de apósitos.

8. Software Técnico-Comercial

Arquímedes y generador de precios CYPE / AutoCAD. Autodesk / REVIT. Autodesk

Base de datos de construcción de la Comunidad Valenciana. Instituto Valenciano de la Edificación.

Base de datos Precio Centro Guadalajara. Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de Guadalajara.

9. Congresos internacionales sobre la materia

Asociaciones que patrocinan los congresos internacionales del ISI Conference Proceedings Citation Index.

European Assoc Struct Dynam
Portuguese Spanish & Italian Grp Fracture
UNSW Built Environm
CRC Low Carbon Living
UrbanGrowth NSW
Amer Soc Civil Engineers, Architectural Engn Inst
Amer Soc Civil Engineers
IAOE
iELA
ELIG.org
IFCES
ASEE
Bruel & Kjaer



Structural Vibrat Solut
InstrutechSOLUT
American Society for Testing and Materials Special Technical Publications
ASTM Int Comm C01 Cement
ASTM Int Comm C07 Lime & Limestone
ASTM Int Comm C12 Mortars
ASTM Int Comm Grouts Unit Masonry
ASTM Int Comm C15 Manufactured Masonry Units
Forum UNESCO
United Nat Educ, Sci & Cultural Org, Commissione Nazionale Italiana
US Italy Fulbright Commiss Linking Minds Across Cultures
Wessex Inst Technol
WIT Transact Built Environm
CNR IVALSA, Trees & Timber Inst
European Corp Sci & Technol
European Convent Construct Steelwork
Int Assoc Bridge Maintenance & Safety
Int Assoc Bridge & Struct Engn
Int Assoc Shell & Spatial Struct
Architects Council Europe
American Inst Architects
American Soc Civil Engineers
European Federat Precast Concrete
Building Technol Educators Soc
European Assoc Architectural Educ
European Federat Engn Consultancy Assoc
European Federat Stuct Glass Lab
Int Sci Comm Anal & Restorat Struct Architectural Heritage
American Soc Civil Engineers, Struct Engn Inst
TensiNet
Inst Struct Engineers
StructuralEngineer.info Website
Associacao Nacl Industriais Prefabricacao Betao
Associacao Portuguesa Projetistas Consultores
Associacao Portuguesa Seguranca Conservacao Pontes
Associacao Portuguesa Construcao Metalica Mista
Ordem Arquitetos Seccao Reg Norte
Ordem Engenheiros
Sociedad Espanola Historia Construcc;

10. Material docente complementario

Esta unidad didáctica se complementa con material gráfico de Casos Particulares de Estudio en obras de rehabilitación:

- Sala lateral junto a la entrada del Mexuar, Alhambra de Granada.
- Iglesia Parroquial de Losa del Obispo, Valencia.
- Mercado Central de Valencia.
- Antigua Posada en Torrebaja, Valencia.

Unidad didáctica 3
http://bit.ly/2pojy49



CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EDIFICIOS

Unidad didáctica 4

Técnicas de conservación y mantenimiento de paramentos-superficies murarias y ornamentos

ÍNDICE



5. Proceso básico de intervención sobre fachadas enlucidas

5.1. Fase n.º 1: Consideraciones previas
5.2. Fase n.º 2: Saneado y readhesión de enlucidos
5.3. Fase n.º 3: Nuevos enlucidos en zonas saneadas «faltantes»
5.4. Fase n.º 4: Limpieza general de fachada
5.5. Fase n.º 5: Consolidación protectora de la superficie
5.6. Fase n.º 6: Hidrofugación
5.7. *Fase n.º 3: Nuevos enlucidos en zonas saneadas «faltantes»

6. Bibliografía

7. Normativa

7.1. Código Técnico de la Edificación
7.2. Normas tecnológicas

8. Software Técnico-Comercial

9. Congresos internacionales sobre la materia

10. Material docente complementario

Esta unidad didáctica se complementa con material gráfico de Casos Particulares de Estudio en obras de rehabilitación:

- Mercado de Colón de Valencia
- Torres de Quart de Valencia.
- Ayuntamiento de Valencia.

Técnicas de conservación y mantenimiento de paramentos

1. Introducción a la intervención en paramentos de fachada

La consolidación de las paredes en edificios antiguos suele estar orientada a corregir dos tipos de patologías:

a) La degradación de los materiales que las componen, causada por los agentes atmosféricos a lo largo de los siglos, reforzada a menudo por la acción de las cargas que actúan.

b) Agotamiento mecánico ocasionado por dos tipos de acciones:

1. Exceso de cargas permanentes, lo que se evidencia por medio de grietas y desplomes que pueden llegar hasta el derrumbe. En estos casos hay que intervenir, pero sin alterar el equilibrio, sólo intentando que se conserve con más seguridad residual lo que se ha logrado a lo largo de los siglos.
2. Las originadas por causas reiterativas y que, aunque sean progresivas, actúan a un plazo más largo.

Es cometido de este capítulo centrar la atención en el primer tipo de patologías. Su tratamiento debe partir de la especificidad del tratamiento para cada caso particular de afección. A tal fin, es imprescindible describir, pieza por pieza, elemento a elemento y sillar por sillar, los elementos en los que es evidente la necesidad de intervención y qué tipo de patología les afecta.

Hay que relacionar el tipo elemento (sillar, ladrillo), el tipo de agresión a que está sometido y los tratamientos posibles en cada caso, y tener en cuenta, en esta última etapa, que es necesario contar con un mínimo de garantías sobre el tratamiento y los efectos que produce sobre la pieza considerada.

En general, se suele llegar a clasificar las piezas o elementos (sillar, ladrillo) en tres tipos según su degradación:

- Las que se pueden dejar como están o, en todo caso, deben someterse a una limpieza superficial, siempre evitando procedimientos agresivos, con agua nebulizada y herramientas de madera o esparto. En el caso de piezas importantes, se puede utilizar la limpieza con rayos láser, sistema que sólo afecta a los depósitos ajenos a la masa pétrea.

- Las que requieren algún tipo de consolidación o refuerzo, ya que pueden estar cerca del límite de su capacidad resistente. Es el caso más delicado y conviene comprobar que la intervención no empeorará o acelerará el proceso naturaleza l de degradación a que han sido sometidas a lo largo de los siglos. En este caso, no se pueden dar recetas de validez universal y conviene consultar con geólogos y químicos especializados.
- Las que están, de manera evidente, fuera de los límites aceptables y que hay que cambiar. En este caso, corresponde a la filosofía particular de cada trabajo escoger el tipo de elemento (sillar, ladrillo) que sustituirá al ya existente y su presentación. De todos modos, hay que huir, en general, de recolocar o tratar estas piezas nuevas con morteros excesivamente rígidos de cemento portland, en las diferentes variedades, para evitar la heterogeneidad de comportamiento del elemento intervenido.

1.1. *Tipos de erosión*

Comoquiera que tenemos tres tipos de procesos patológicos y que las técnicas de reparación suelen estar condicionadas por el carácter de aquellos, convendrá plantear de un modo independiente en cada uno de ellos.

Erosión mecánica

- Causas indirectas

Basadas en el error de elección del tipo de material para las acciones erosivas que va a sufrir o, en todo caso, la falta de protección adecuada.

- Causas directas

Son los agentes concretos que provocan la erosión, y que, en la mayoría de los casos, resultan inevitables.

Abrasión e impacto

Se pueden considerar dos alternativas en función del alcance de la erosión y del tipo de material.

- Reposición, cuando el material no era el adecuado o la recuperación es imposible.
- Recuperación, cuando la profundidad de la erosión no ha comprometido la consistencia ni estabilidad del material.

Erosión química

La causa directa es la debida al agua, como causa directa complementaria, los distintos productos químicos que generan la lesión y que pueden provenir de la contaminación atmosférica, del propio material o de sus adyacentes.

1.2. *Análisis e intervención*

Para corregir:
Defectos del propio elemento, ladrillo o piedra.
Defectos de las estructuras internas.

Los análisis pueden ser:

- Óptico-mineralógicos.
- Físico-químicos.
- Comparativos entre piedra tratada y no tratada, etc.

a) *Análisis óptico-mineralógicos*, relativos al estado de conservación del elemento, determinando:

- % y estado de cada mineral componente.
- Estructura (tamaño y forma de granos), y su estado:
- Aglomerante (arcilla, carbonato, silicato, etc.).
- Grado de penetrabilidad para distintos agentes, etc.

b) *Análisis físico-químicos, para determinación de:*

- Propiedades del elemento (% de agua, sales ligantes, etc.
- Poder de imbibición.
- Resistencia al desmoronamiento, por ensayo de voladura.

c) *Análisis comparativo entre elemento tratado y no tratado, estableciendo paralelos de:*

- Resistencia a heladas.
- Resistencia a desintegración en medio ambiente en presencia de acides, álcalis y sales.
- Dureza y porosidad, por ultrasonido.
- Ensayos de capilaridad, permeabilidad al vapor de agua, de rotura, etc.

2. Tratamientos previos generales

La fachada de un edificio, como elemento constructivo común de una edificación, asume un papel protagonista en los edificios históricos como exponente de la cultura de aquella época.

La agresión a que se ve expuesta la piedra de edificación, especialmente en áreas urbanas e industriales, hace que en muchos casos el grado de deterioro, en forma de descohesión de la piedra, formación de sales, de pátinas y costras negras, etc., sea tan avanzado que resulte aconsejable aplicar a la piedra algún producto de tratamiento que mejore su percepción estética y durabilidad.

La intervención o restauración de la fachada, para que tenga éxito, es vital conocer en profundidad la patología existente, investigando las causas que la han originado, así como la valoración del deterioro que se observa y de esta forma con una actuación mínima y un proceso de trabajo correcto, corregir las anomalías sin deformar el legado histórico /artístico del edificio.

Las técnicas de restauración, como ya se ha comentado, pretenden aplicar trabajos artesanal es de la época apoyados por la investigación y desarrollo de productos actuales o técnicas opcional es más sofisticadas, para dar solución al problema actual.

Recapitulando lo expuesto sobre este tipo de fachadas históricas, los materiales que se empleaban en aquella época eran calizas o granitos, ladrillo cerámico macizo o se mezclaban ambos para realzar el diseño de la fachada.

Lo común en estas fachadas es el zócalo o zona baja de la misma, que está en contacto con el terreno o acerado, formado por regla general por sillares de granito con un grado de deterioro muy avanzado por ser una superficie que soporta una agresión permanente por los agentes meteorológicos y las agresiones humanas.

Antes de iniciar la actuación, debemos tener elaborado un Plan Director con análisis, ensayos, etc., que nos marque la pauta de los trabajos, como consecuencia de lo que nos encontramos en cada edificio.

Debemos considerar tres pasos o tipos de actuaciones sobre el material que con viene analizar, aunque sea esquemáticamente y que, en muchas ocasiones, tienen aplicaciones simultáneas:

2.1. Limpieza de la superficie a tratar
2.2. Consolidación del material componente
2.3. Hidrofugación del material componente

En cualquier caso, todos esos procedimientos requieren una revisión periódica, ya que tienen una vida útil limitada. En dicha revisión periódica (normalmente decenal) habrá que estudiar petroquímica y petrofísicamente la capa exterior del material y actuar en consecuencia.

2.1. *Limpieza de la superficie a tratar*

La limpieza de este tipo de fachadas es un trabajo complejo al no existir una Normativa que la ampare, por lo cual lo aconsejable es efectuar pruebas en distintos puntos y sistemas, para elegir el más idóneo -sin agredir al material componente- y paralelamente realizar estas mismas pruebas con probetas de la piedra original, comprobando en ambos casos el comportamiento del sistema de limpieza.

Pero la experiencia de investigadores y técnicos recomienda:

- Efectuar la limpieza con lentitud y gradualmente, comprobando los resultados finales.
- No alterar las «Policromías», si existen, ni producir desprendimientos o pérdida de masa en los materiales componentes.
- Finalizada la limpieza, ni a corto ni largo plazo, se deben observar alteraciones de coloración y textura.
- Se desestima el objetivo de dejar la superficie como si estuviese realizada el día anterior.
- Muchas personas que trabajan en este campo, comparten el criterio de que el material debe estar limpio pero no nuevo, exponiendo al observador el paso del tiempo, lo cual el autor comparte.
- Las esculturas o elementos ornamentales no deben perder la «talla» original, aunque el paso del tiempo la haya alterado y si es aconsejable no efectuar limpieza profunda ser à el mejor criterio que se puede tomar.
- La limpieza con medios o métodos agresivos se rechaza totalmente, por tener consecuencias irreparables, como pueden ser arrastre de material, deformación del aspecto primitivo, difuminar los volúmenes y sobre todo por aumenta r considerablemente la porosidad abierta del material componente.

2.1.1. Manchas de suciedad

- *Polvo y Humus*, proceden del aire y contaminación del entorno, su efecto es destructivo, el primero por la erosión que produce el viento y el segundo por una acción química sobre el material componente. El «Humus» de color negro, originado por las combustiones de materiales inorgánicos, tráfico rodado, etc., se deposita en los salientes de la fachada y se puede considerar que al día hay un aporte de aproximadamente 0,30 gr/cm^2.

- *Las «Costras»*, proceden de la combustión de materiales inorgánicos, al desprenderse dióxido de azufre (SO_2) que al entrar en contacto con el agua o humedad, se transforma en acido sulfuroso ($S0_3H_2$) que con el oxígeno ambiental se convierte en ácido sulfúrico (SO_4H_2), agrediendo químicamente al material componente - principalmente a las rocas calizas, formando sulfato cálcico (SO_4Ca) que al emigrar al exterior precipita en forma de sal hidratada, que en contacto con la suciedad ambiental origina las denominadas «costras negras» de acción destructiva al aumentar su volumen en un 30 % con el agua, en el interior de los capilares- fenómeno muy extendido en el Patrimonio Artístico de las grandes ciudades con una contaminación muy elevada producida por calefacciones y automóviles.

- *Las «Manchas blancas»*, son cristalizaciones de la calcita contenida en el material componente al entrar en contacto con el agua, observándose en las zonas de fachada donde la lluvia lava más el material, no encontrándose en las zonas de granito o fachadas completas de este tipo de material.

- *Las «Eflorescencias»*, tienen su origen en el interior del propio muro de cerramiento, procedentes de las sales solubles contenidas en el material de cerramiento, alterando al exterior y al perder el agua por evaporación cristalizan en unas manchas blancas.
  Estas manchas «blanquecinas» están ancladas en los capilares del material y pueden ser muy destructivas al hidratarse por su considerable aumento de volumen, rompiendo la estructura interna del material componente.

- *Las «Manchas de origen Biológico»*, no se pueden considerar como verdaderas manchas, los microorganismos inciden en las alteraciones que se observan en los edificios históricos, por la acción química de las sustancias que segregan o producen la descomposición de sus restos.
  Las deposiciones o «guano» de las aves, sobre todo las palomas, aparte de ensuciar el edificio deterioran el color y estructura del material componente por la acción química del ácido fosfórico que producen en su descomposición.

2.1.2. Organismos vegetales

Las microalgas tienen una acción tanto directa y corrosiva como indirecta, ya que crean el ambiente adecuado para el desarrollo ulterior de líquenes, briofitas (musgos y hepáticas] y traqueofitas (plantas) y otros organismos infestantes.

La acción química ejercida por los ácidos segregados por las raíces puede contribuir a la disolución de determinados componentes minerales de los materiales.

Los tratamientos biocidas pueden aplicarse por pulverización, con pincel y con compresas en el caso de incrustaciones muy espesas y rígidas.

El producto químico empleado para la remoción de plantas infestantes dependerá del tiempo de aplicación y sobre todo del tipo de vegetación que se intenta eliminar. Los productos a aplicar deberán ser incoloros, no oleosos, neutros químicamente, poco tóxicos, poco solubles en agua, no dejar residuos permanentes, degradables ni residuos inertes que puedan ser arrastra dos por las lluvias. En todo caso, conviene ponderar la necesidad de su empleo y, en su caso, reducir el uso de biocidas al mínimo imprescindible por su daño potencial al medio ambiente.

La eliminación mecánica de la microvegetación de fábricas expuestas debería limitarse a superficies coherentes y compactas. Se ejecuta con la ayuda de cepillos de púas rígidas, bisturí, espátula y, ocasionalmente, con máquinas de microproyección de arena.

Es aconsejable prevenir la aparición de macrovegetación, actuando para ello sobre la humedad, la temperatura, la luz o eliminando los depósitos o aportes nutricionales que constituyan la base para el crecimiento de nuevos focos.

2.1.3. Sistemas de limpieza más frecuentes

Al no existir una Normativa específica, nos apoyaremos en las pruebas y ensayos efectuados in-situ y el laboratorio.

Los métodos de limpieza los podríamos agrupar en Acuosos, Químicos, Mecánicos y Especiales.

- *Los «Métodos manuales»*, se realizan a través de la acción mecánica de los cepillos de cerdas blandas o suaves, tanto naturales como sintéticas, eventualmente con la adición de una mínima cantidad de agua, jabones, detergentes tensoactivos, biocidas o una combinación entre los mismos, calibrada para no crear mayor abrasión de la necesaria en el muro o en los enlucidos, suele ser la opción más adecuada para una limpieza delicada de las fábricas. En términos generales, no se recomienda el uso de cepillos de púas metálicas por el exceso de abrasión que producen.

- *Bisturí*
  Para aquellos detalles más delicados en los que aparecen incrustaciones resistentes y de pequeñas dimensiones se hace aconsejable el uso del bisturí como método de Limpieza. Esta técnica tan precisa se suele aplicar en zonas de reducidas dimensione s después de una limpieza general.

- *Los «Métodos acuosos»*, tienen como base el agua, aprovechando el poder de disolución de la misma. La limpieza debe de realizarse a baja presión con chorro de agua, a poder ser templada, con la ayuda de cepillos de uña de cerda natural en periodos máximos de 30 minutos sobre la misma zona de la fachada, con el fin de no saturar la piedra de humedad.
  Las manchas de «eflorescencias» se eliminaran con cepillado de la zona en seco con cepillos de uña de cerda natural y un posterior lavado con agua continua en forma de escorrentía.
  Las «costras», incrustaciones, mohos, etc., se eliminan con chorros de agua espaciados para conseguir un reblandecimiento y posterior cepillado. En el caso de que sean resistentes, se aplican apósitos de celulosa sobre la zona rebelde permaneciendo como mínimo 24 horas, para posteriormente eliminarlos con agua, repitiendo el proceso si no desaparecen.
  Es aconsejable, por no decir imprescindible, una vez seca la fachada aplicar por impregnación un producto biocida con Airles, para evitar la formación algas posteriores.
  Será necesario realizar estas intervenciones con temperaturas superiores a 17°, tanto para evitar los fenómenos de heladas como para acelerar la evaporación del agua y afectar a la fachada lo mínimo posible. De hecho, evitar la entrada de agua en profundidad debe ser una prioridad garantizada, en parte, por el sellado previo de las juntas.

Limpieza con agua nebulizada

La limpieza es eficaz en caso de suciedad poco ad herida o costras con ligantes solubles en agua: en caso de productos grasos la eficacia es menor. La técnica consiste en pulverizar agua a través de una serie de boquillas fijas o rotantes que permiten controlar la zona rociada, de manera que la suciedad se disuelva más rápidamente y se reduzca el empleo de agua sobre las superficies.

Se colocan las boquillas desde la parte superior hacia la inferior, por fases, no se dirigen directamente contra la fachada sino hacia arriba. Dejando que las gotas se depositen si n necesidad de presión alguna. Se puede utilizar esta técnica solamente en épocas calurosas para que el agua se evapore rápidamente evitando el peligro de las heladas.

La duración de la aplicación depende del tipo de soporte, su estado de conservación y la suciedad, y puede variar desde un par de horas hasta más de diez.

Este sistema se utiliza sobre toda en caso de piedras calizas compactas y mármoles.

Limpieza con spray de agua

La técnica se diferencia de la precedente solamente por el empleo de spray de agua y no de agua nebulizada, de manera que la acción mecánica es un poco más intensa y por otra parte reduce el tiempo de aplicación y los aparatos necesarios.

Limpieza con chorro de vapor

La aplicación de un chorro de vapor debe limitarse a superficies de menor trascendencia por los inconvenientes que el calor puede originar.

- *Los «Métodos químicos»*, tienen como base la aplicación de productos químicos, con un pH no inferior a 7, para facilitar el desprendimiento de la suciedad por reacción química o disolución, como puede ser la dilución de ácido clorhídrico al 10 % con agua y un posterior aclarado con agua abundante. Las pastas tixotrópicas de carboximetil celulosa, dejando actuar aproximadamente sobre 12 horas, con posterior eliminación con agua abundante, proporcionan resultados satisfactorios.
  Para la eliminación de pinturas y grafitis, es recomendable el uso de cloruro de metileno o disolventes orgánicos derivados de las bentonitas, dejando actuar como mínimo 5-10 minutos, con posterior eliminación con espátula y aclarado final con agua abundante.

- *Los «Métodos mecánicos»*, actúan en seco, por lo que es recomendable en las piedras que no admitan una limpieza acuosa por las características intrínsecas de las mismas.

El sistema de limpieza lo podríamos definir como de proyección o abrasivos, pero lo cierto es que al ser una actuación agresiva no se debe emplear en fachadas históricas blandas, si no es con un control exquisito y en zonas muy determinadas y rebeldes.
Los métodos de proyección son los tan conocidos de «chorro de arena», muy empleados en la limpieza y saneado del hormigón armado, el cual para este tipo de fachadas está totalmente prohibido, aconsejando su empleo sólo y exclusivamente en los zócalos de granito en la versión de «arena húmeda» y siempre que otros sistemas no tengan resultados positivos.
En la limpieza de elementos ornamentales como pueden ser esculturas, bajorrelieves, escudos, etc., se utiliza un sistema recuperable denominado «microchorreado», consistente en la proyección sobre la zona sucia de unas microesferas de óxido de aluminio o vidrio, lo cual tiene un coste elevado pero unos resultados espectaculares.
Los métodos abrasivos son poco utilizados, por su acción destructiva y en el caso de tener que emplearlos, el control debe de ser exquisito y la duración del trabajo mínima, porque la consecuencia final es un aumento de la porosidad abierta del material con el riesgo de llegar a quitar partes sanas de la piedra, el ladrillo o el enlucido cuando no hay un buen control de los aparatos y de la presión. Se deben controlar multitud de factores: la elección del árido, que en toda caso debe ser neutro, la presión del aire, la proporción entre aire y árido, la distancia entre la boquilla y la superficie, el ángulo de impacto los tiempos de aplicación, la delicadeza de la persona encargada de la limpieza y la identificación de las zonas con costras espesas y coherentes, donde es realmente necesaria la proyección. La presión debe ser reducida y debe ser regulable con un manómetro, pues el efecto de erosión debe ser lento para poder controlar constantemente el trabajo. Las boquillas conectadas a un tubo blando, deben permitir una proyección de pocos milímetros y la sección debe poder reducirse en caso de alternancia.

- *Los «métodos combinados»* o por hidroarena en el que la acción disolvente del agua se combina con una acción mecánica de los granos de arena u otro árido. La proyección a baja presión de estos elementos combinados se utiliza en materiales lapídeos, incluso decorados, y su acción es más incisiva respecto al agua nebulizada. En este caso, se reduce la producción de polvos en el aire mejorando el confort del trabajador. Los aparatos existentes dan la posibilidad de mezclar los elementos libremente, de calentar el agua para aumentar el poder de solución y añadirle productos tensoactivos.

- *Los «métodos con apósitos»* también llamados tampones o papetas.
Este tipo de intervención utiliza la capacidad de absorción de los materia le s de los apósitos. Que suelen ser de sepiolita, bentonita o celulosa. Es tos materiales se mojan con agua, que sirve de vehículo y facilita el desplazamiento de los iones de las sales solubles y la remoción de residuos oleosos o grasos. Son efectivos, pero también pueden llegar a ser caros, así que se suelen emplear para detalles concretos con carácter delicado.

Mientras el agua evapora lentamente, los materiales de la compresa van cristalizando con los residuos absorbidos. Para aumentar la acción del agua y mantener el material húmedo durante más tiempo, se suelen cubrir la compresa con un film plástico o de aluminio. Se puede dejar el apósito in situ desde 48 horas hasta varios días o hasta que los tampones estén secos.

- Los «métodos especiales», son la combinación de los anteriores, para intervenciones que exigen una limpieza selectiva por la importancia del elemento histórico. En las sales interiores, eflorescencias exteriores, son positivos el empleo de agua desionizada o el uso de apósitos de pastas de colas de celulosas o arcillas, actuando durante horas o días , con un proceso lento pero seguro para obtener resultados positivos, solubilizando las sales, que son absorbidas por el propio apósito.
  El empleo de sistemas de microondas o láser, por su alto coste, no es muy generalizado en el sector de la Restauración - recuperación o mantenimiento de edificios históricos- pero sus resultados son muy positivos, efectuando los trabajos en los propios Talleres y rara vez se trasladan los equipos a pie de obra si no lo exige el problema a solucionar.

En resumen, la limpieza de una fachada de edificio histórico, es compleja por incidir sobre la misma tres factores importantes para una correcta restauración como son la estética, la técnica y la economía.

2.2. *Consolidación del material componente*

La consolidación tiene como objetivo aumentar la cohesión de los componentes de la superficie de los elementos de fachada alterados. Con ello se mejora también su resistencia mecánica. Esta se consigue aplicando, con distintos procedimientos, un producto a su superficie que mejore la adherencia entre la parte más deteriorada y la más sana.

Para conseguir una buena adherencia, el producto aplicado no debe penetrar solamente en el seno de la piedra alterada sino que debe penetrar también en la parte sana subyacente. Cuando los productos consolidantes se aplican de tal forma que sólo afectan a la parte deteriorada, suele formarse una capa superficial de mayor dureza y resistencia que el sustrato, la cual tiende a desprenderse más o menos a corto plazo por la interfase elemento tratado - elemento sana. Es por tanto imprescindible que, sea cual fuere la naturaleza del producto de tratamiento aplicado, se controle su penetración en el interior del material. Para conseguir los propósitos descritos el consolidante debe estar en estado líquido, tener baja tensión superficial y baja viscosidad y penetrar en poros y fisuras.

Para que la adherencia del producto sea duradera es necesario que el consolidante, una vez haya penetrado en los espacios vacíos, pase del estado líquido al sólido.

Como consecuencia de la consolidación se produce una disminución de la porosidad abierta, debido a que entra en los poros un producto nuevo. ¿Cuál será la nueva porosidad y distribución porosimétrica del elemento tratado? Ambos son aspectos que en principio se desconocen y que de ellos depende la aireación del agua y del vapor por el interior de la pieza tratada; son, por consiguiente, aspectos problemáticos que condicionan la durabilidad de la misma.

Los consolidantes no deben cambiar el color y brillo de la superficie, no deben facilitar la aportación de elementos nocivos (sales) y no deben modificar, de forma drástica, la permeabilidad al vapor de agua.

El proceso de deterioro que han experimentado los edificios históricos, como consecuencia de la agresión medioambiental procedente de los procesos tecnológicos de los últimos años, han producido una alteración en las propiedades físicas, hídricas y mecánicas del material componente.

En el caso de encontrarnos con sillares de piedra o fábricas de ladrillo en un estado de deterioro muy avanzado y prácticamente, desaparecido, la sustitución del elemento (sillar, ladrillo) es vital por otro del mismo tipo que el existente y al no poder realizar este trabajo, se buscara una cantera o industria con piezas de la misma composición y un comportamiento mineralógico igual, para no dañar al resto de los elementos (sillar, ladrillo) circundantes.

La reposición del nuevo elemento (sillar, ladrillo) conlleva un meticuloso proceso de trabajo, que comentamos a continuación.

- Demolición del elemento (sillar, ladrillo) alterado y degradado, con saneado perimetral y profundo, con posterior soplado del hueco mediante aire a presión.
- Imprimación del hueco en todo su perímetro con una dilución 1/5 de emulsión polimérica y agua.
- Introducción del nuevo elemento (sillar, ladrillo) con dimensiones algo menores, para dejar lugar al material de relleno, confeccionado con dilución polimérica.
- Finalmente se limpia la zona reparada para dejarla en la misma situación que el resto de fachada.

La consolidación del material componente es un objetivo primordial para recuperar o mejorar las características del mismo. Para conseguir una consolidación idónea del material componente, es preciso estudiar con profundidad y minuciosidad las características del material original y actual, para conocer el producto existente en el mercado o la fabricación del mismo que cumpla las exigencias que demanda la intervención.

En el caso concreto de los sillares de piedra, ya bien sean calizas o granitos, el estudio de las patologías y tratamientos son algo diferentes, como consecuencia de las propiedades inherentes de cada material, pero lo básico del producto

consolidante es tener características específicas para conseguir el fin deseado (tabla 2.1).

Tabla 2.1. *Esquema de posibles intervenciones para problemas en el terreno y en la cimentación.*

CARACTERÍSTICA	PRODUCTO
Aplicación	Impregnación
Penetración	Máxima, con baja densidad
Vehículo	Fácilmente evaporable
Textura	Sin película ni costras superficiales
Agresión	No deformar, aspecto ni textura, con el tiempo
Reacción Química	Negativa con los componentes del material
Comportamiento Petroquímico y Físico	No alterar las propiedades físicas y químicas
Permeabilidad al Vapor de agua	Máxima
Durabilidad	Máxima
Compatibilidad	Compatible con tratamientos posteriores

Tabla: adaptada por el autor

En los productos consolidantes, existentes en el mercado, su objetivo como ya se ha expuesto, es recuperar la cohesión interior del material, en nuestro caso cementar elemento (sillar, ladrillo) deteriorado por los procesos químicos y físicos originados en su masa. Los consolidantes actúan químicamente sobre la estructura del elemento (sillar, ladrillo) u otro material y la base de los mismos es orgánica o inorgánica.

2.2.1. Los de base inorgánica

Estos son productos con características semejantes a la composición de la propia pieza o material donde va a ser aplicado, estos se relacionan genéricamente (tabla 2.2):

Tabla 2.2. *Productos consolidantes.*

NOMBRE GENÉRICO	FÓRMULA QUÍMICA
Hidróxido de Calcio	$Ca\ (OH)_2$
Hidróxido de Bario	$Ba\ (OH)_2$
Hidróxido de Estroncio	$Sr\ (OH)_2$
Aluminato Potásico	$Al\ O_2\ K$
Silicatos de Potasio o Sodio	$Si\ O_3\ K_2$ / $Si\ O_3\ Na_2$
Flúor Silicatos	$Si\ F_6$ --

Tabla: adaptada por el autor

En los consolidantes con base «hidróxidos», su empleo mayoritario es en piedras de origen carbonatico, al carbonatarse éstos por acción del anhídrido carbónico ($C0_2$) contenido en la atmósfera, lo que origina la formación de carbonatos, que refuerzan la estructura de la piedra, con las siguientes reacciones que se expresan a continuación.

$$Ca\,(OH)_2 + CO_2 => C0_3\,Ca + H_2O$$
$$Ba\,(OH)_2 + CO_2 => C0_3\,Ba + H_2O$$
$$Sr\,(OH)_2 + CO_2 => C0_3\,Sr + H_2O$$

En el caso de los Aluminatos, su empleo como consolidante es apropiado en las piedras de areniscas y granitos, actuando por hidrólisis precipitan «alúmina» (Al_2O_3) que cementa la piedra, con la siguiente reacción química.

$$2\,Al\,O_2\,K + H_2O => Al_2\,O_3 + 2\,K\,(OH)$$

El problema del uso de los Aluminatos es que en la reacción se producen como subproductos, hidróxidos de potasio (KOH), que en ciertas condiciones de humedad/ temperatura pueden producir sulfataciones de color blanquecino, que se eliminan con un cepillado enérgico con cepillo de uña de cerda y posterior lavado de la superficie con abundante agua.

El uso de los Silicatos es, como el de los Aluminatos, para consolidar piedras de areniscas y granitos, que en contacto con el agua producen un «gel» de sílice que cementa la estructura de la piedra, con la siguiente reacción química.

$$Si\,0_3\,K_2 + 3\,H_20 => Si\,(OH)_4 + 2\,K\,OH$$
$$Si\,0_3\,Na_2 + 3\,H_20 => Si\,(OH)_4 + 2\,Na\,OH$$

La posible formación de sulfataciones y eliminación de las mismas, se resuelve con el mismo proceso que en el caso de los Aluminatos.

El empleo de los Flúor-silicatos es apropiado en piedras carbonaticas o areniscas, con un proceso de disolución ácida de la fracción carbonática que precipita en la estructura de la piedra un «gel» de sílice que con el anhídrido carbónico de la atmósfera origina la carbonatación y en consecuencia la cementación de la piedra, con la siguiente reacción química, empleando Flúor-silicato de magnesio.

$$Si\,F_6\,Mg + 2\,C0_3\,Ca => 2\,F_2\,Ca + F_2\,Mg + Si\,O_2 + 2\,CO_2$$

De una forma más sencilla, la solución acuosa de los Flúor-silicatos origina acido fluorhídrico al reaccionar con los carbonatos de la piedra y en presencia del anhídrido carbónico de la atmósfera se produce un producto de origen carbonatico que consolida la piedra, con la siguiente reacción química.

$$Si\,F_6\,Mg + 2\,H_20 => Si\,F_2\,H_2 + Mg\,(OH)_2$$

La posible formación de sulfataciones y eliminación de las mismas se resuelve con el mismo proceso que en el caso de los Aluminatos.

En general, hay que tener muy en cuenta que el empleo de consolidantes inorgánicos produce subproductos dañinos a la piedra, como pueden ser cambios cromáticos y tensiones internas -por la creación de cristales en los capilares- que producen microfisuraciones, casi siempre, y el tiempo de espera para la posterior aplicación de otros tratamientos, como hidrofugantes, pera como consecuencia de su afinidad con la piedra la consolidación que se consigue es positiva y de larga duración en el tiempo.

2.2.2. Los de base orgánica

El más antiguo en su uso es la cera, la cual posee poca capacidad para realizar un refuerzo estructural de la composición interna de la piedra como consecuencia de la poca penetración en el elemento (sillar, ladrillo). Hoy en día, los avances tecnológicos conseguidos en el campo de la química y el conocimiento en profundidad de los materiales empleados en la construcción, permiten formular productos consolidantes sintéticos, como son las denominadas «resinas» y los derivados del ácido silícico.

La base de trabajo para la referida formulación es partir de un monómero que enlazado entre si repetidamente llega a formar una cadena conocida como «polímero».

2.2.2.1. Resinas sintéticas

En este campo, hay que distinguir dos grupos básicos, como son Termoplásticas o Termoendurecibles, pero en sí, su acción sobre el material aplicado es la formación de una fina capa de producto que recubre la superficie del sistema estructural alterado -en nuestro caso de la piedra o ladrillo-, cohesionando los componentes del mismo, por su propia característica adhesiva, comentando a continuación las más utilizadas en el sector.

Resinas Termoplásticas

También denominadas «Termoestables» por la formación de polímeros lineales, están compuestas de un solo componente, que al entrar en contacto con un disolvente apropiado y aplicadas por impregnación penetran en el interior de los poros, evaporando el vehículo, se deposita en la estructura del elemento (sillar, ladrillo) sin sufrir alteración química la composición pero consolidando las alteraciones.

En el mercado, actualmente, hay dos grupos de estas resinas como son las Vinílicas y las Acrílicas.

Las resinas Vinílicas, son estables a la luz solar y en función del grado de polimerización son generalmente blandas y elásticas, con un grado de penetración que depende de la viscosidad y de la cantidad de disolvente empleado (tolueno, cetonas, etc.).

Las resinas Acrílicas, polimerizan en el interior del material con altas temperaturas —rayos ultravioleta o gamma— con un grado de penetración aceptable que mejora sensiblemente si se mezclan con silanos además de evitar la pérdida por evaporación del consolidante, conocidas como resinas acrilsilicónicas.

Resinas Termoendurecibles

Las podemos considerar igualmente termoestables y sus monómeros están unidos por enlaces químicos, formando una red tridimensional, compuestas por dos componentes (Base + Reactor), modifican su estructura al reticular con características mecánicas específicas.

Las resinas más empleadas y conocidas, existentes en el mercado, por sus resultados contrastados son las epoxídicas y poliéster.

Las resinas Epoxídicas se caracterizan por poseer el grupo epoxi ($--CHO = CH_2$) unido a un radical y que en presencia de un catalizador o reactor polimerizan, originando productos de gran adherencia, dureza, buen comportamiento a altas temperaturas y productos químicos.

Las formulaciones epoxi son prácticamente infinitas, tantas como aplicaciones, aunque existen en el mercado un grupo básico de ellas para aplicaciones que podemos considerar comunes, por lo cual es aconsejable el presentar el problema al fabricante y éste estudiará y formulará la Base y Reactor correctos para solucionar nuestro problema.

Las resinas de Poliéster se emplean en forma de disoluciones de poliéster no saturado en estireno, para reducir viscosidad y facilitar la polimerización mediante un catalizador o reactor, resultando polímeros de gran resistencia a ácidos y álcalis pero muy sensibles a los rayos UV que producen cambios cromáticos en el material donde se ha aplicado.

La aplicación se efectúa mediante impregnación, aunque su uso como consolidante en este tipo de edificios es muy restringido, a consecuencia de la reducción importante de la permeabilidad al vapor de agua que produce sobre todo en la piedra.

Las resinas de silicona. Este elemento químico, al igual que el carbono, tiene la propiedad de unirse a sí mismo y posibilitar la formación de compuestos análogos a los orgánicos.

En presencia de agua los compuestos silicoorgánicos se hidrolizan tornando sílice, que precipita de forma amorfa y puede unirse, mediante enlaces electrostáticos. De esta manera se consigue un efecto protector o un efecto consolidante y protector.

Los compuestos silicoorgánicos más simples son los silanos pero, como «consolidante», la formulación más utilizada es el silicato de etilo que al introducirse en la piedra se hidroliza con la humedad interior produciendo un «gel de sílice» que cohesiona la estructura, alcohol etílico y agua que se evaporan de forma natural.

Los «ésteres orgánicos del silicio» consolidan por cementación, al reaccionar la composición del elemento (sillar, ladrillo) con el «gel» silícico, siempre que el elemento a tratar, sea de origen granítico, areniscas, calizas, etc., aunque el proceso de curado es largo los resultados son muy positivos.

Además del silicato de etilo, los principales consolidantes silicoorgánicos empleados para el tratamiento de las fábricas son, en la actualidad: los fluosilicatos, los alquil-alcoxi-silanos, los alquil-aril-polisiloxanos y los polisiloxanos.

La aplicación es por impregnación en base disolvente, evitando la evaporación muy rápida, como consecuencia de la temperatura del elemento (sillar, ladrillo) tratado (figura 1).

Los consolidantes silicoorgánicos cumplen los siguientes requisitos:

- Son fáciles de aplicar, por tener un solo componente.
- No colmatan los espacios vacíos (poros o fisuras) de la piedra.
- No impiden la difusión del vapor de agua.
- No modifican el color y el brillo de la superficie de la piedra.
- Tienen una buena penetración.
- No generan productos secundarios.

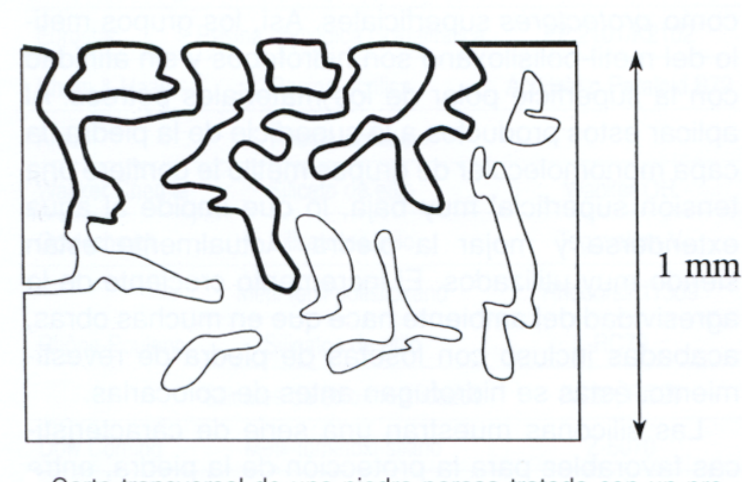


Figura 2.1. Corte transversal pétreo poroso. Según: Munilla-Lería.

2.3. *Hidrofugación del material componente*

El objetivo de la protección superficial de la piedra es disminuir la velocidad de los procesos de alteración o reducir la probabilidad de que éstos se produzcan.

Para conseguir esta finalidad se puede actuar en el ambiente, cambiando sus condiciones. Mas habitualmente se consigue la protección aplicando un producto químico a la superficie de la piedra para hacerla hidrorrepelente. Estos productos rechazan el agua y con ella los productos de alteración que esta suele llevar disueltos o en suspensión, principalmente contaminantes.

Normalmente se trata de productos transparentes que no alteran el aspecto de la superficie. También se puede conseguir la protección aplicando un producto no transparente, aunque este procedimiento no suele utilizarse en edificios de sillería.

Existen testimonies que afirman que, desde la antigüedad clásica, la piedra utilizada para exteriores de edificios, tanta en paramentos lisos como en labrados, se solía proteger. Así son conocidas las referencias a la aplicación de albúmina, ceras, colas animales, resinas naturales, etc. Estos productos protegían a la piedra sin modificar su aspecto externo.

Las partes esculpidas se solían policromar, sobre todo en la Edad Media, aunque este hecho obedecía a motivaciones estéticas e ideológicas más que a criterios de protección. En la segunda mitad del siglo XIX se intensifica la búsqueda de nuevos métodos para proteger al material pétreo, desembocando en los que de forma generalizada se emplean en la actualidad.

Otro aspecto a resaltar en relación con la protección de la piedra, son las pátinas de oxalato, detectadas en numerosos edificios. Dichas pátinas han sido estudiadas en toda Europa, particularmente en Italia, y existe controversia sobre su origen. Pueden deberse a una protección de la piedra debida a la mano del hombre, o también pueden haberse generada por la descomposición química de material orgánico presente en los productos aplicados para protegerla. Cuando se encuentran oxalatos de calcio en costras negras, parece que en su génesis han intervenido las partículas sólidas de contaminación.

La patología de los deterioros y alteraciones que se observan en los edificios o monumentos históricos, es consecuencia de la entrada del agua de lluvia - agravada por la contaminación atmosférica y gases tóxicos- nieblas, escarchas, etc., en los materiales componentes de los cerramientos exteriores.

Ante esta patología, el objetivo principal es «aislar» al agua del material componente del cerramiento, para lo cual trataremos a éste con productos hidrófugos o hidrorrepelentes, que cumplan con esta misión.

Hay que distinguir los conceptos de «hidrófugo» y «hidrorrepelente», los cuales definiremos a continuación:

Producto hidrófugo se considera aquel que interpone un film entre el agua y el material donde es aplicado, sin producir alteraciones cromáticos, químicas o de permeabilidad al vapor de agua.

Producto hidrorrepelente, aquel que penetra en él material por impregnación tapizando las paredes de los capilares, formando un sustrato con los componentes del mismo, produciendo grupos hidrorrepelentes, disminuyendo el diámetro de los capilares sin cariar el flujo de vapor de agua interior.

El efecto de «hidrorrepelencia» se aprecia en el exterior, por la formación sobre la superficie del material de «perlas de agua «, como si la misma estuviese encerada o aceitada.

Ante todo lo expuesto sobre los anteriores conceptos, es aconsejable utilizar productos hidrorrepelentes y no hidrófugos, si no se piensa que la actuación implique un cambio de aspecto cromático del edificio.

Es importante antes de la aplicación del producto «hidrofugante», que la superficie de aplicación sea lo más homogénea posible - para unos resultados positivos eliminando desconches, fisuras, faltas de material, etc., porque al no tener en cuenta estas anomalías el objetivo de «estanquidad» disminuye sensiblemente y la hidrofugación resulta nula y el desembolso económico inútil.

Los productos hidrófugos con efectos hidrorrepelentes más utilizados en estos momentos, son los compuestos organosilíceos o más concretamente las denominadas «Siliconas». Su característica principal es su alto poder hidrofugante sin producir cambios cromáticos en la superficie del material donde se ha aplicado y por el contrario son solubles en el agua, por lo cual su efectividad es limitada y el tratamiento se tiene que repetir en un plazo de 2 a 4 años para que el material repela el agua.

Como el fin primordial de un hidrófugo es penetrar en el capilar lo más profundo posible, es vital que la humedad interior del material, sillar o ladrillo, sea la mínima estando comprendida entre el 8-10 % y caso de superar este valor lo racional es esperar o realizar un secado por vías naturales o artificiales.

El secado natural sería proteger la zona de aplicación de las posibles lluvias durante un tiempo, practicando con anterioridad perforaciones a distinta altura para facilitar la evaporación y posteriormente con el método del carburo o sondas eléctricas analizar en ese momento el grado de humedad remanente.

El secado artificial y de menor tiempo de espera, sería igualmente la protección de la superficie de posibles lluvias y posteriormente aplicar «cañones de calor» durante unas horas o días, analizando con los métodos anteriores la humedad interior.

Existen también unos sistemas de secado por medio de microondas, algo costosos, que comentaremos a continuación.

En resumen, las siliconas muestran una serie de características favorables para la protección de la piedra, entre las que cabe citar:

- Influencia mínima sobre el color y el brillo.
- Estables frente a los agentes químicos (particularmente lluvia acida).
- Estable frente a las radiaciones ultra violetas.
- Impermeabilidad al agua líquida.
- Permeabilidad al vapor de agua.
- Reversibilidad o, cuanto menos, facilidad de extracción.
- No generación de productos secundarios.
- Facilidad de aplicación.

Si estos productos se aplican sobre piedra previamente consolidada con algún producto, es preferible que la consolidación se haya realizado con algún producto de naturaleza silicoorgánica, ya que proporcionan una base adecuada para el enlace polar de las siliconas. Las rocas consolidadas con productos inorgánicos no tienen afinidad con las siliconas, por lo que el efecto hidrofugante que éstas les confieren es menos duradero. En la tabla 2.3 se muestran algunos de los productos manufacturados, orgánicos y silicoorqánicos, que en la actualidad se utilizan más habitualmente como consolidantes.

En la tabla 2.4 se recoge la firma comercial (fabricante) y nombre de algunos de los protectores más utilizados en la actualidad.

2.4. *Aplicación de los tratamientos*

El modo de aplicar los tratamientos es una fase muy importante, ya que puede condicionar de forma decisiva la evolución del paramento tratado. El éxito de un tratamiento depende, en primer lugar de: la profundidad de penetración y de la distribución del producto en el interior del elemento (piedra, ladrillo).

Los principales factores que influyen en la penetración de los productos de tratamiento son:

- La naturaleza del producto y del disolvente.
- La concentración, viscosidad y tensión superficial de la solución.
- El tiempo de contacto entre la piedra y la solución.
- Las condiciones de temperatura y humedad relativa del ambiente.
- La porosidad de la piedra.

Las firmas comerciales que suministran los productos de tratamiento suelen facilitar datos sobre los factores que se acaban de mencionar.

Tabla 2.3. *Productos empleados como consolidantes.*

Fabricante*	Naturaleza química	Producto
Ciba Geigy	Resina epoxídica	Araldyt AY103/HY951
Eurostac	Resina epoxídica cicloalfática	EP 2101/K2012
Rhom & Haas	Resina acrílica	Acryloid o Paraloid B72
Albus	Resina acrílica	
Wacker Chemie	Silicato de etilo	Wacker OH
Goldschmidt	Silicato de etilo	Tegovakon V
Rhône-Poulenc	Metil-fenil polisiloxano	Rhodorsil 11309
	Silicatos de etilo	RC70
	Silicatos de etilo modificados	RC80, RC90
Dow Corning	Metil-trimetoxi-silano	Z-6070

*Algunos productos comerciales utilizados en España como consolidantes
Tabla: adaptada por el autor

Tabla 2.4. *Fabricante y nombre de productos consolidantes.*

Fabricante*	Producto
Bayer	Baysilone LV, LO-N, LF
Goldschmidt	Tegosivin HL-40, HL-100, HL-200
Rhône-Poulenc	Rhodorsil H224, 4518
Wacker Chemie	090, 280, 290, VP-1311
General Electric	Dry Film 104

*Algunos productos comerciales utilizados en España como consolidantes
Tabla: adaptada por el autor

Los procedimientos de aplicación de los productos en el edificio pueden hacerse con nebulizador, pincel, apósitos y gota a gota (tablas 2.3 y 2.4). Los dos primeros procedimientos suelen ser los más ampliamente utilizados; el resto suele llevarse a cabo en zonas concretas, con problemas más específicos. En el laboratorio los productos suelen aplicarse por: capilaridad, inmersión total, inmersión total al vacío, gota a gota, en autoclave, nebulización, etc.

Cuando se hacen pruebas experimentales en el laboratorio para valorar la idoneidad de los tratamientos, conviene aplicar estos con los mismos procedimientos que se van a llevar a cabo en la obra. En trabajos de mayor contenido científico, cuando se pretende estudiar las propiedades y durabilidad de diferentes sistemas elemento-tratamiento, es conveniente utilizar varios procedimientos de aplicación, a fin de disponer de patrones de comportamiento como referencia.

2.5. *Valoración de la eficacia e idoneidad de los tratamientos*

Los productos de tratamiento que se encuentran en el mercado reúnen los requisitos de acuerdo con la finalidad para la cual han sido fabricados, es decir, son eficaces. Sin embargo, debido a la heterogeneidad de los materiales pétreos sobre los que se aplican, no siempre alcanzan el mismo grado de idoneidad.

Además, en los paramentos de edificación, las condiciones externas pueden ser muy diversas y no siempre son las óptimas para una evolución favorable de los productos aplicados que, teóricamente, deberían tener un buen comportamiento.

Los estudios llevados a cabo en el laboratorio suelen estar basados en la medida de ciertas propiedades físicas: color, porosidad, succión capilar, permeabilidad al vapor, ángulo de contacto, etc. Antes y después de aplicar los tratamientos. Se acompañan, por lo general, con los resultados en el comportamiento de las rocas tratadas y envejecidas artificialmente, simulando ensayos en los que se hace actuar agentes de alteración de forma acelerada, aunque comparable con los que afectarían a la piedra en la edificación.

Para la identificación de las pinturas tendremos en cuenta las siguientes cualidades:

- Resinas alquídicas en dispersión: No se disuelven en alcohol.
- Resinas acrílicas en emulsión: Se disuelven en alcohol.
- Clorocaucho y vinílicas: Se disuelven en su propio disolvente.
- Epoxy: No se disuelve en White Spirit o Xileno y si están expuestas al exterior presentan «caleo».
- Poliuretano: No se disuelven en White Spirit o Xileno y en el exterior tienen buena retención de color o brillo.

Tanto en la madera como en los enlucidos y enfoscados se tratará de poner especial cuidado en el pre-tratamiento de las superficies. Las superficies pintadas requerirán la eliminación completa de la pintura en caso de que esta no presente las cualidades necesarias de adherencia y consistencia.

Las superficies que vayan a ser pintadas y no dispongan de ninguna pintura previa deben de ser también adecuadamente tratadas. Siempre se debe garantizar la ausencia de polvo, grasas o aceites. En enlucidos, guarnecidos y enfoscados se puede pintar siempre que estos se encuentren perfectamente secos (tratando de evitar la desecación artificial por sus consecuencias negativas). En caso de que se tengan que aplicar sobre soportes aun húmedos se tratara de utilizar pinturas al agua (por su mayor compatibilidad con el agua del soporte, nunca esmaltes o semejantes) y a ser posibles con pinturas plásticas mate lo más permeables posibles, aditivándolas con fungicidas. También se aplicará siempre una imprimación homogeneizadora cromática, reguladora de la absorción, promotora de la adherencia y de la consolidación del soporte. Incluso en soportes que se puedan considerar no estables esta

mano de consolidación deberá duplicarse o triplicarse. En las superficies de madera variará el tratamiento previo mucho en función del acabado y tipo de revestimiento que se le dé. No obstante, habitualmente también recibirá una imprimación y un tratamiento de sellado de poros y alisado.

Respecto de la elección de las pinturas, en superficies repintadas siempre lo determinará la pintura preexistente por la necesaria compatibilidad con ella. En aplicaciones no repintadas de enfoscados de cal o cemento se recomienda la utilización de pinturas al silicato por su alta permeabilidad al vapor de agua e impermeabilidad al agua de lluvia, así como su estabilidad al paso del tiempo y cualidades petrificantes del soporte. En superficies enlucidas se recomiendan las acrílicas de altas capacidades permeables, aditivadas con fungicidas y ajustando sus cualidades más en detalle en función del uso del local o estancia. No obstante, la elección del silicato de aluminio en interiores es también una muy buena elección por sus cualidades permeables, aunque requiere para el mayor aprovechamiento de sus propiedades, que los enfoscados interiores sean de cal hidráulica natural.

3. Proceso básico de intervención sobre fachadas de piedra

3.1. *Fase n.º 1: Eliminación de elementos extraños*

Esta actuación comprende la demolición de elementos metálicos y extraños, como pueden ser instalaciones o construcciones adosadas a la fachada.

En algunos edificios históricos existen elementos metálicos formando parle de la propia sillería, como son grapas, zunchos, etc., necesarios para la estabilidad de la misma y que ocasionan deterioros visibles como «cromaticidad» y hasta pérdida de material alrededor de ellos, por la oxidación progresiva del metal.

Esta patología la subsanamos efectuando un tratamiento de estos elementos metálicos con el siguiente proceso de trabajo.

- Decapado del elemento metálico, en todo su perímetro, por acción química durante un tiempo determinado, conforme a las características del producto y recomendaciones del fabricante. Si para tratar el elemento metálico es preciso picar o demoler parte del sillar de piedra se recomienda esta acción para aislar totalmente el metal de la entrada de agua.
- Rascado y cepillado, de toda la superficie del elemento metálico, con rasqueta y cepillo metálico para terminar con soplado de aire a presión.
- Recubrimiento del elemento metálico, en todo su perímetro, con un producto de base epoxídica, en un mínimo de dos mano s y consumo de 0,50 kg/m^2.
- Relleno del hueco originado, con mortero polimérico en color similar al de la piedra previa imprimación de la superficie con una dilución 1:5 de agua/emulsión polimérica y posterior labrado de la superficie exterior.

3.2. *Fase n.º 2: Saneado de juntas entre sillares*

Se revisara el deterioro y estado general del llagueado, efectuando la restauración del mismo, con el siguiente proceso de trabajo.

- Rascado de la junta hasta encontrar material estable y posterior soplado de la misma con aire a presión. Si se pierde el fondo de junta, se introducir à en la junta un cordón de polietileno extrusionado de un diámetro un 25 % superior al ancho de la junta.
- Relleno de la junta con un mortero de cemento 1:4 de filler de sílice, amasado con una dilución 1:5 de agua/emulsión polimérica, previa imprimación de los labios de la junta con di1ución 1:10 de agua/emulsión polimérica, terminando la actuación con un llaguero que restaure el aspecto de la junta original.

3.3. *Fase n.º 3: Limpieza general de fachada*
(según lo comentado)

3.4. *Fase n.º 4: Recuperación de volúmenes*

Después del análisis previo de la piedra dañada, la terapia se resume en estas dos actuaciones:

- Tratamientos.
- Sustituciones.

3.4.1. Fase n.º 4.1: Tratamientos

Cada caso exigirá el particular tratamiento, refiriéndose, en general, a los siguientes:

- Desecación, por barreras, inyecciones, electroósmosis, etc.
- Desalinización o lixiviación, por succión de agua, desionizado, paso de corriente continua, compresas absorbentes, etc.
- Consolidaciones químicas, orgánicas o inorgánicas.
- Hidrofugación, con productos hidrorrepelentes, que colmatan poros, aunque reducen la permeabilidad al vapor de agua.

En cualquier caso los tratamientos tienen una duración limitada debiendo exigirse al fabricante garantías mínimas de 10 años.

3.4.2. Fase n.º 4.2: Sustituciones

Cuando el tratamiento es ineficaz o insuficiente, debido al precario estado del material, se procede a la sustitución, que sólo deberá ser la imprescindible, manteniendo y protegiendo las zonas no dañadas.

Las sustituciones se pueden efectuar con:

- Piedra natural
- Pastas pétreas artificiales

Piedra natural

A base de mampuestos, sillares viejos o nuevos similares a los originales y, a ser posible, de la misma cantera.

Pastas pétreas artificiales

Orgánicas o inorgánicas, pueden ser prefabricadas o hechas in situ, con igual coloración y granulometría que la de la fábrica original.

Los componentes son arena, machaqueo de piedra primitiva, lava basáltica, etc., y como ligante se usa cemento, resinas epoxi, etc., pero el producto será en cualquier caso poroso de modo que se permita la difusión del vapor de agua, sales, etcétera.

Proceso:

- Descamación de la zona afectada, mediante cepillo de uña de cerda natural, con soplado posterior de aire a presión.
- Aplicación en la zona afectada de una imprimación consolidante de emulsión polimérica 1:3 con agua, procurando una penetración máxima controlada por la velocidad de absorción.
- Relleno de la zona afectada con un mortero polimérico, en color igualo similar a la piedra existente, predosificado y existente en el mercado. El espesor o recargue tendrá 2-3 cm como mínimo y la fijación se conseguirá por grapado, atornillado, etc., que mejoran su adherencia con masillas epoxídica o con tacos-Sky de PVC.

Dentro de las sustituciones cabe distinguir las reconstrucciones de elementos erosionados, o con partes desprendidas, etc., como impostas, dinteles, cornisas, etc.

La reconstrucción se puede organizar a base de armaduras ancladas a la piedra original recibida con lechada vertida sobre encofrado previo de igual perfil que la parte a sustituir. Es solución pesada y cara por lo que, en general, es preferible

el montaje de una placa o pieza de piedra artificial sujeta con grapas u horquillas metálicas a la piedra original, y relleno ligero entre estas.

- Labrado de superficie, pasadas unas horas o días, hasta conseguir una textura similar a la existente con posterior cepillado con cepillo de nylon.
- Aplicación de una «pátina», confeccionada con pigmentos orgánicos y líquido polimérico 1:10 de agua/emulsión polimérica, para igualar la cromaticidad general de la sillería.

Si el volumen desprendido es profundo y extenso, la aplicación del mortero polimérico en color, en su primera puesta, será armado con varillas de acero inoxidable y las sucesivas puestas hasta rellenar todo el volumen se efectuaran normalmente previa imprimación entre ellas de líquido polimérico, siendo el proceso de trabajo total el mismo que el que se ha descrito anteriormente.

3.5. *Fase n.º 5: Consolidación e hidrofugación de la sillería* (según lo comentado)

4. Proceso básico de intervención sobre fachadas de ladrillo macizo

Una humedad remanente constante, por efecto de la propia capilaridad del ladrillo cerámico macizo que asciende por el muro a cotas de altura visibles desde el interior del edificio con las consecuencias destructivas que se pueden observar en revestimientos decorativos, pinturas al fresco, pudrición de elementos ornamentales de madera, tapizados, etc., y en general un olor a humedad con la sensación de frialdad y un grado de confort mínimo o nulo debilita considerablemente la capacidad portante del muro

Estos muros están sometidos a una compresión uniforme y desarrollan grietas paralelas al eje de carga, resultado de los esfuerzos de tracción perpendiculares a la compresión principal, aunque es evidente que la resistencia a compresión de las fábricas de ladrillo macizo son menores que la que corresponde a la propia pieza cerámica, teniendo en cuenta también la resistencia a compresión del mortero de cemento que une a los distintos ladrillos entre si, por lo cual en resumen se podría decir que la resistencia a compresión de la fábrica de ladrillo cerámico macizo es un valor suma del conjunto ladrillo/mortero de cemento.

Estas características nos llevan a la conclusión de que la humedad remanente en el muro cerámico, altera o mejor dicho disminuye las propiedades mecánicas del elemento constructivo, lo cual origina estudiar la forma, manera o método que frene la ascensión capilar y lo aísle del contacto con la humedad del terreno .

Una vez efectuadas y finalizadas las inspecciones, ensayos de laboratorio y estudios de la degradación, se puede iniciar el proceso de intervención que culmine

con la «restauración» de la fachada del edificio histórico, con las siguientes fases de trabajo.

4.1. *Fase n.º 1: Eliminación de elementos extraños*

Engloba la demolición parcial o total de elementos extraños al edificio, como pueden ser instalaciones, luminarias o construcciones adosadas, para sanear la fachada y obturar todo orificio que origine una entrada de agua al ladrillo cerámico macizo.

4.2. *Fase n.º 2: Saneado de juntas entre ladrillos* (según lo comentado para sillares)

4.3. *Fase n.º 3: Recuperación de ladrillos desaparecidos o degradados*

Después del análisis previo del paramento dañado, la terapia se resume en estas dos actuaciones:

- Tratamientos.
- Sustituciones.

4.3.1. Fase n.º 3.1: Tratamientos

Cada caso exigirá el particular tratamiento, refiriéndose, en general, a los siguientes:

- Desecación, por barreras, inyecciones, electroósmosis, etc.
- Desalinización o lixiviación, por succión de agua, desionizado, paso de corriente continua, compresas absorbentes, etc.
- Consolidaciones químicas, orgánicas o inorgánicas.
- Hidrofugación, con productos hidrorrepelentes, que colmatan poros, aunque reducen la permeabilidad al vapor de agua.

En cualquier caso los tratamientos tienen una duración limitada debiendo exigirse al fabricante garantías mínimas de 10 años.

4.3.2. Fase n.º 3.2: Sustituciones

Cuando el tratamiento es ineficaz o insuficiente, debido al precario estado del material, se procede a la sustitución, que sólo deberá ser la imprescindible, manteniendo y protegiendo las zonas no dañadas.

Las sustituciones se pueden efectuar con:

- Ladrillo de nuevo aporte
- Pastas arcillosas artificiales (inusual).

Proceso:

En el caso de encontramos con una fábrica de ladrillo cerámico de tejar, en un estado de deterioro muy avanzado y prácticamente desaparecido, la sustitución del ladrillo o ladrillos es vital, por otro del mismo tipo que el existente y al no poder realizar este trabajo se buscara una cerámica que produzca un ladrillo de la misma o similar composición y un comportamiento petrofísico igual, para no dañar al resto de los ladrillos circundantes.

La reposición del nuevo ladrillo o ladrillos cerámicos - retraqueo- conlleva un meticuloso proceso de trabajo, que comentamos a continuación, basado en un análisis termográfico.

- Demolición del ladrillo o ladrillos deteriorados, con saneado perimetral y profundo, con posterior soplado del hueco mediante aire a presión.
- Imprimación del hueco en todo su perímetro con una dilución 1/5 de emulsión polimérica y agua.
- Presentación de la nueva o nuevas piezas cerámicas en el hueco de fachada, comprobando que existe espacio perimetral suficiente para introducir el mortero de cemento de asiento.
- Comprobada la validez de la pieza o piezas cerámicas, en el caso de una sola pieza se rellena el hueco con un mortero acorde en su composición al histórico y posteriormente se presiona la pieza cerámica sobre él golpeándola con un martillo de nylon, retirando el mortero sobrante y llagueando si es necesario. Si la zona a sustituir es más extensa se actúa como si se levantase una fábrica de ladrillo tradicional.
- Finalmente se 1impia la zona reparada para dejarla en la misma situación que el resto de fachada.

4.4. *Fase n.º 4: Limpieza general de fachada (según lo comentado)*

4.5. *Fase n.º 5: Consolidación del ladrillo cerámico (según lo comentado)*

4.6. *Fase n.º 6: Hidrofugación del ladrillo cerámico (según lo comentado)*

Si importante es consolidar la cara del ladrillo, la hidrofugación del mismo es vital para la conservación de la fábrica de ladrillo cerámico y se podrí a asegurar que en orden de prioridades lo primero debe ser una buena hidrofugación antes de una buena consolidación.

La existencia de las humedades interiores en este tipo de fachadas procede de la penetración del agua de lluvia en la fábrica, lo cual exige un tratamiento de la cara exterior que lo aísle del contacto con el agua de lluvia, pero que no corte la permeabilidad al vapor de agua.

La «estanquidad» en este tipo de fachadas, está en función de la permeabilidad al agua de lluvia del mortero de asiento, es decir del llagueado, lo cual genera un riesgo en la garantía de impermeabilidad y por este motivo es muy importante efectuar una inspección en profundidad del llagueado, saneándolo y en algunos casos tratarlo con un producto incoloro que combate al máximo la porosidad abierta del mortero de asiento, como puede ser la aplicación de una resina acrílica transparente, mediante pincel y a continuación aplicar el producto hidrofugante.

Conseguidas las condiciones óptimas del paramento de fachada, se puede proceder a la hidrofugación del ladrillo cerámico de tejar, con un tratamiento aplicado a brocha plana, rodillo o airles de un producto con base un siloxano oligomérico al 6 % en vehículo «white spirit», a razón de 0,8-1 ,2 litros por metro cuadrado. El producto al ser absorbido por el ladrillo obtura los capilares sin sellarlos —mediante el depósito de grupos hidrorrepelentes procedentes de la hidrolización con las sales del propio ladrillo— permitiendo el paso del vapor de agua y la no aparición de eflorescencias en la cara vista del ladrillo, originando un efecto de «perleo» al entrar en contacto el agua con la fachada del edificio.

La aplicación debe de ser lenta, para dar tiempo a que penetre en la masa del ladrillo en función de su porosidad abierta, llegándose a realizar dos o tres aplicaciones antes de conseguir el «perleo» en la superficie, el cual debemos de comprobar lanzando un cubo de agua sobre la zona tratada y si al instante se consigue, la hidrofugación es correcta, en caso contrario se repetirá el tratamiento.

Es importante comentar que el tratamiento se debe comenzar por la parte inferior de la fachada, para evitar que los escurrimientos enmascaren, oculten o disimulen la superficie realmente tratada, así como que la aplicación se debe iniciar antes de las 24 horas de posibles lluvias, pues si los capilares se encuentran llenos de agua la penetración del hidrofugante es mucho menor que si se encuentran vacíos o parcialmente llenos, lo cual no es beneficioso para un hidrofugación de garantía.

5. Proceso básico de intervención sobre fachadas enlucidas

5.1. *Fase n.º 1: Consideraciones previas*

El revoco tradicional es un revestimiento continuo hecho con un mortero formado por cal grasa en pasta debidamente cocida y apagada, arena suelta, limpia y sin arcilla (mármol blanco molido) y pigmentos minerales, todo ello amasado con agua limpia y exenta de sales. Su característica más importante es que una vez puesto en obra se va endureciendo (carbonatando) poco a poco, hasta convertirse en una

costra pétrea de poco espesor que se hace cada vez más resistente, sin variación de volumen.

En cuanto a su estado de conservación los enlucidos de las fachadas de los edificios urbanos ofrecen generalmente un panorama diverso. En algunos casos, el mismo enlucido proporciona el color y el acabado exterior de la fachada y, por consiguiente, la pervivencia del carácter propio del edificio depende de su conservación.

Como norma general, se aconseja la conservación y eventual consolidación de los enlucidos existentes en el grada máximo que permita su estada de salud y la economía de obra, que debe comparar entre los costes de su demolición y posterior refacción con el coste de su preservación.

5.2. *Fase n.º 2: Saneado y readhesión de enlucidos*

A menudo los enlucidos de fachada pueden aparecer craquelados o semidesprendidos. Es fácil reconocerlos, pues al golpearlos con los nudillos suenan ligeramente a vacío. La readhesión de un enlucido confiere continuidad al estrato con el muro y evita que se pierda definitivamente. Los procedimientos son similares a los utilizados para rellenar huecos en el interior de muros.

Se debe realizar un lavado de la superficie y de las cavidades interiores para saturarlas. A continuación, se debe proceder desde abajo hacia arriba, por zonas. Se deben tapar las grietas del enlucido con un mortero similar al empleado en el resarcido de lagunas del enlucido. Finalmente, se procede al rellenado del abolsamiento desde arriba mediante cánulas por donde se inyectan micromorteros o lechadas de cal.

Es posible emplear productos sintéticos para el relleno, que serán recomendables sobre todo en los casos donde el desprendimiento sea muy leve y no haya espacio para la inyección de mortero.

Uno de los más empleados es la resina acrílica vinílica, que se diluye en agua desionizada al 5 o 10 % par a consolidar y como mucho al 40-50 % para pegar puntualmente alguna costra de enlucido.

Un caso especial es el sellado de los bordes perimetrales de un enlucido que se encuentran abiertos o semidesprendidos del muro soporte. Para un adecuado sellado final, éste se debe rematar con morteros finos de cal.

La recomposición de la continuidad de la superficie enlucida de la fachada puede responder doblemente, y de manera a veces independiente, a exigencias estéticas, si se estima que el desprendimiento del enlucido es negativo desde la apariencia visual, o a exigencias constructivas, si estas lagunas ponen en peligro la fábrica o el resto del enlucido.

Cualesquiera sean los motivos de resarcir una laguna, se debe prestar una especial atención a su armonización con el enlucido histórico, y buscar la compatibilidad química y la similitud del color del árido y aglomerante, granulometría, superficie y textura.

Es necesario cuidar la compatibilidad de los morteros nuevos con los existentes y sus características de resistencia, retracción y dilatación térmica. Se debe evitar el empleo de morteros de cemento, por su carácter rígido e intranspirable, su alto contenido en sales, su mayor dilatación térmica respecto a los morteros de cal y yeso.

El aglomerante adecuado para el resarcido de lagunas de los enlucidos dependerá de cada caso concreto, pero lo más común será recurrir a la cal aérea, eventualmente con aditivos hidráulicos (puzolana, tejoletas...) o aceleradores del fraguado (yeso vivo) o, directamente, la cal hidráulica.

5.3. *Fase n.º 3: Nuevos enlucidos en zonas saneadas «faltantes» (ver tras fase n.º 6)**

5.4. *Fase n.º 4: Limpieza general de fachada (según lo comentado)*

5.5. *Fase n.º 5: Consolidación protectora de la superficie*

En estos casos, es necesaria la aplicación de un consolidante que en ocasiones puede tener también una función hidrófuga. La aplicación se puede realizar mediante capas sucesivas, utilizando una brocha, hasta que la superficie esté completa mente impregnada y rechace el líquido. La aplicación del material consolidante se puede realizar además con un nebulizador, retirando el producto excedente que se irá acumulando.

Los productos consolidantes utilizados son de lo más variado, desde la tradicional lechada de cal a los polímeros sintéticos.

Entre ellos destaca el silicato de etilo, que garantiza el movimiento a través de los capilares de la piedra y otros materiales. En contacto con la humedad de la atmósfera, el silicato de etilo se transforma en sílice, muy compatible y adherente con los materiales a consolidar, y garantiza una óptima permeabilidad al vapor y además sin causar ninguna transformación de las características cromáticas del material.

Los siloxanos son productos a base de silicona que se emplean sobre toda como protección e hidrofugante y que tienen la virtud de dejar transpirar el vapor de agua. Se aplican puros o diluidos en disolvente nitrocelulósico. Su aplicación di-

luida favorece la penetración, ya que el disolvente actúa como medio de transmisión. Como todos los productos sintéticos, los siloxanos envejecen y van perdiendo sus propiedades.

5.6. *Fase n.º 6: Hidrofugación* (según lo comentado)

5.7. **Fase n.º 3: Nuevos enlucidos en zonas saneadas «faltantes»*

El mortero de cal es un excelente aislante térmico y acústico, es incombustible, impermeable a la filtración y, antes de endurecer y debido a su plasticidad, admite toda tipo de colores y formas.

Los morteros de cal grasa no crean sales, su comportamiento mecánico es armónico con otros materiales, no cuartean debido a su lento fraguado, no necesitan aditivos y su porosidad deja transpirar al soporte.

El revoco tradicional está compuesto como mínimo por dos capas:

- Capa base con una dosificación cal/arena de 1:2 en volumen. Debe ser la más resistente y puede llegar hasta los 2 cm de espesor.
- Una o varias capas sucesivas de acabado sobre la primera, con una dosificación cal/arena de 1:3 en volumen, a la que se añaden los pigmentos minerales elegidos de acuerdo al color deseado, en proporción del 3 al 5 %. Estas capas son cada vez más finas y con mayor proporción de aglomerante.

La preparación adecuada de los paramentos consiste básicamente en:

a) Consolidar todas las partes mal adheridas hasta asegurar su firmeza.

b) Limpiar los paramentos para que queden exentos de polvo, sales, restos de pintura.

c) Asegurar el agarre en el caso de soportes especiales (adobe, tapial, madera,...) disponiendo una malla metálica entre soporte y argamasa, sujeta adecuadamente.

d) Humedecer suficientemente el paramento para que éste no absorba agua del revoco posteriormente. La humectación debe aplicarse en la parte de arriba para que descienda uniformemente por gravedad.

En cuanto a la técnica de aplicación del revoco se deben seguir las siguientes pautas:

a) Nunca será más resistente que el soporte sobre el que se aplica

b) Su aplicación se hará a paletadas, con fuerza, de abajo hacia arriba y de izquierda a derecha para asegurar la cohesión y evitar la formación de bolsas de aire

c) El revoco se aplicará con instrumentos planos y de madera (el fratás y la talocha), por capas finas (tongadas) y dando lugar a que se fijen y tomen cuerpo. Hay que asegurarse siempre la coherencia y esta significa actuar sobre el grado de humedad, los tiempos entre capas, los espesores, la rugosidad.

Para unos buenos resultados su aplicación/reparación ha de observar una serie de recomendaciones:

- Asegurarse previamente la planimetría (rellenar huecos), la limpieza (decapar, chorrear) y la adherencia al soporte (imprimar, colocar mallas en las zonas más expuestas).
- Añadir aceleradores y retardadores de fraguado para evitar la aparición de sales (invierno) o fisuras (verano) cuando las condiciones climáticas sean extremas.
- Cumplir las especificaciones de los fabricantes a la hora de elegir el producto, la dosificación, el n.º de capas necesarias, y siempre a través de una mano de obra especializada.
- Los revestimientos bicapa son una variante de los monocapas que constan de:

a) capa mortero en base cemento y/o cal que aporta las funciones técnicas.

b) capa de acabado que aporta las funciones estéticas, y que puede a su vez ser sintética, como los revestimientos a base de resinas acrílicas en dispersión acuosa, o los minerales como el estuco de cal a base de un mortero de cal aérea coloreado en masa con pigmentos minerales, que representa la alternativa al revoco tradicional.

Estos morteros permiten una gran variedad de acabados en cuanto a colores, texturas y aspectos, empleando básicamente las herramientas que se desarrollaron para el revoco tradicional. Los monocapas están pensados y se comportan muy bien en obra nueva, pero hay que tener mucho cuidado y reservas con su empleo en restauración ante las dificultades de compatibilidad con los materiales integrantes del edificio.

6. Bibliografía

Calero Castillo, Ana Isabel, Teresa López Martínez, Ana García Bueno, María Teresa González Muñoz y Víctor J. Medina Flórez. 2016. *Ensayos de consolidación en los revestimientos murales del Conjunto Arqueológico de Cástulo. Linares*, Jaén. Ge-conservación, 10.

Esbert, Rosa Mª. 2008. «Técnicas de consolidación y protección de la piedra» en Gibert, L.M. (Ed). *Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales*, tomo 3 (153-160). Munilla-Lería. Madrid.

Espuga Bellafont, Jaume. 2000. *Esgrafiats. Teoria i pràctica*. Barcelona. Ed. U.P.C.

Espuga Bellafont, Jaume. 1997. *Arrebossats i estucats*. *Teoria i pràctica*. Barcelona. Ed. U.P.C.

Gárate Rojas, Ignacio. 1994. *Las artes de la cal*. Madrid. Munilla-Lería.

Gárate Rojas, Ignacio. 1999. Artes de los Yesos, *Yeserías y Estucos*. Madrid. Munilla-Lería.

García Esparza, Juan Antonio. 2005. *Documentación de la Rehabilitación del Mercado de Colón de Valencia.* Inédito. Empresa EMR, S.L.

García Esparza, Juan Antonio. 2007. *Documentación de la Rehabilitación de las Torres de Quart de Valencia*. Inédito. Empresa Cyrespa Arquitectónico.

García Esparza, Juan Antonio. 2008. *Documentación de la Rehabilitación del Ayuntamiento de Valencia*. Inédito. Empresa Cyrespa Arquitectónico.

Gil, Juan Manuel. 2004. «Revocos y monocapas» en López, Luis (Ed). *Restauración básica* (84-89). Valencia. C.O.A.C.V.

Monjó Carrión, Juan J. 2010. *Patología de cerramientos y acabados arquitectónicos*. Madrid. Munilla-Lería.

Piles Selma, Verónica. 2006. Tesis doctoral «Estudio de los morteros de los revestimientos continuos de las arquitecturas del centro histórico de Valencia». *Preparación de Morteros de restauración mixtos cal-puzolana*. Valencia.

Olmos, Carlos. 2008. «Patología de la piedra» en Gibert, Luis Miguel (Ed). *Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales*, tomo 3 (131-140). Munilla-Lería. Madrid.

7. Normativa

7.1. *Código Técnico de la Edificación*

DB-HS Salubridad
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HS.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.

B.O.E.: 28 de marzo de 2006
Modificado por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007
Corrección de errores.
B.O.E.: 25 de enero de 2008

DB-SUA Seguridad de utilización y accesibilidad
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SUA.
Real Decreto 173/2010, de 19 de febrero, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 11 de marzo de 2010

DB-HR Protección frente al ruido
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HR.
Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007
Corrección de errores.
B.O.E.: 20 de diciembre de 2007

7.2. *Normas tecnológicas*

UNE-EN 13279-1: 2009 Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 1: Definiciones y especificaciones.

UNE-EN 13279-2: 2004 Métodos de Ensayo del Yeso.

UNE-EN 459-1: 2011. Cales para la construcción, especificaciones y criterios de conformidad.

UNE-EN-459-2: 2011. Métodos de Ensayo de la Cal.

UNE-EN-459-3: 2012. Evaluación de la conformidad.

UNE-EN 998-1: Morteros de revoco y enlucidos. Especificaciones.

UNE-EN ISO 787-7:2010. Métodos generales de ensayo para pigmentos y extendedores. Parte 7: Determinación del residuo en tamiz. Método al agua. Procedimiento manual.

UNE-EN ISO 2811-1:2016. Pinturas y barnices. Determinación de la densidad. Parte 1: Método del picnómetro. (ISO 2811-1:2016).

UNE-EN ISO 7783-2:1999. Pinturas y barnices. Materiales de recubrimiento y sistemas de recubrimiento para albañilería exterior y hormigón. Parte 2: De-

terminación y clasificación de la velocidad de transmisión agua-vapor (permeabilidad).

UNE-EN ISO 11507:2002. Pinturas y barnices. Exposición de los recubrimientos a envejecimiento artificial. Exposición a la radiación ultravioleta fluorescente y al agua.

UNE-EN ISO 11664-1:2011. Colorimetría. Partes 1-6: Observadores colorimétricos patrón CIE. (ISO 11664-1:2007).

UNE-EN ISO 11998:2007. Pinturas y barnices. Determinación de la resistencia al frote en húmedo y de la aptitud al lavado de los recubrimientos.

UNE-EN 15824:2010. Especificaciones para revocos exteriores y enlucidos interiores basados en ligantes orgánicos.

UNE-EN 16074:2011 Pinturas y barnices. Determinación del contenido de materia no volátil y rendimiento de aplicación de los materiales de recubrimiento en banda continua.

UNE 48312:2016. Pinturas y barnices. Pintura de silicato en base acuosa para hormigón y albañilería en exteriores.

8. Software Técnico-Comercial

Arquímedes y generador de precios CYPE / AutoCAD. Autodesk / REVIT. Autodesk

Base de datos de construcción de la Comunidad Valenciana. Instituto Valenciano de la Edificación.

Base de datos Precio Centro Guadalajara. Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de Guadalajara.

9. Congresos internacionales sobre la materia

Asociaciones que patrocinan los congresos internacionales del ISI Conference Proceedings Citation Index.

LACONA
German Fed Environm Fdn
SPIE
Chinese Acad Sci
Beijing Inst Environm Features
Forum UNESCO



United Nat Educ, Sci & Cultural Org, Commissione Nazionale Italiana
US Italy Fulbright Commiss Linking Minds Across Cultures
Assoc Calorimetry & Thermal Analysis
Int Soc Comp Civil & Struct Engn
Arbeitskreis Bauinformat, German Natl Comm
Technol Vermittlungs Agentur Berlin e V
EUROPEAN UNION GEOSCI
Topcon
Unione Italiana Disegno
Forum UNESCO
United Nat Educ, Sci & Cultural Org, Commissione Nazionale Italiana
US Italy Fulbright Commiss Linking Minds Across Cultures
Amer Soc Eighteenth Century Studies
Int Soc Photogrammetry & Remote Sensing
European Soc, Colloid & Interface Soc.

10. Material docente complementario

Esta unidad didáctica se complementa con material gráfico de Casos Particulares de Estudio en obras de rehabilitación:

- Mercado de Colón de Valencia
- Torres de Quart de Valencia.
- Ayuntamiento de Valencia.

Unidad didáctica 4
http://bit.ly/2NXHR6T



CONSERVACIÓN
Y MANTENIMIENTO
DE EDIFICIOS

Unidad didáctica 5

Sintomatología, diagnosis e intervención en estructuras de madera

ÍNDICE

Esta unidad didáctica se complementa con material gráfico de Casos Particulares de Estudio en obras de rehabilitación:

- Iglesia Parroquial de la Pobla de Benifassà, Castellón.
- Torre medieval de Càlig, Castellón.
- Antigua Posada de Torrebaja, Valencia.

Sintomatología, diagnosis e intervención en estructuras de madera

1. Factores de degradación abióticos y bióticos

1.1. *Factores de degradación abióticos*

En síntesis, podemos decir que los principales agentes abióticos, cuyo efecto podemos estudiar separadamente, son:

- Las radiaciones solares
- Los cambios de humedad
- El fuego
- Los productos químicos

1.2. *Factores de degradación bióticos*

Hongos	Mohos	
	Hongos cromógenos	
	Hongos de pudrición	Pudrición blanda
		Pudrición parda o cúbica
		Pudrición blanca o fibrosa
Insectos	Coleópteros	Anóbidos (carcoma)
		Cerambícidos (carcoma grande)
		Líctidos (polilla)
	Isópteros	Termitas subterráneas
		Termitas de madera seca

2. Factores de degradación: por comportamiento estructural

2.1. *Signos de agotamiento**

2.1.1. Deformaciones

2.1.2. Rupturas

2.1.3. Grietas de secado

* Estos apartados, aunque importantes, pertenecen exclusivamente a patologías del material y se enseñan profusamente en otras asignaturas.

2.2. *Aspectos constructivos*

En los fallos de comportamiento estructural, la incidencia de los defectos constructivos, principalmente de las uniones, es muy superior a la que presenta el simple defecto de cálculo o dimensionamiento.

Por lo tanto, es más frecuente encontrar fallos en las uniones diseñadas defectuosamente, que en el centro de la pieza.

3. Metodología de diagnóstico de elementos estructurales de madera

El proceso de diagnosis consiste en la puesta en práctica, de manera ordenada y sistemática, de una serie de operaciones que permitan reunir la información necesaria para llegar al conocimiento de la situación real en que se encuentra una determinada estructura de madera.

El proceso de diagnóstico es de gran importancia a la hora de intervenir en un edificio. Permite la toma de decisiones respecto a las soluciones que hay que adoptar y tiene en cuenta el diseño de la estructura, los aspectos constructivos, las cuestiones de seguridad y los aspectos económicos respecto a la inversión a realizar, en relación con las prestaciones que se esperan de la estructura.

3.1. *Objetivos del diagnóstico*

El planteamiento de trabajo a desarrollar cambia en función de la finalidad o los objetivos de la tarea que origina el proceso de diagnosis (tabla 3.1).

- La necesidad de evacuación del edificio
- La justificación de su apuntalamiento
- Si se apuntala el edificio, la viabilidad o no del retorno de los ocupantes
- Posibles reparaciones de desperfectos sin ocasionar interrupciones en su uso normal
- La real importancia de la patología que presenta el edificio.

Por tanto, en función de las respuestas podemos diferenciar tres objetivos:

a) Una inspección rutinaria de mantenimiento de la estructura
b) La evaluación de la capacidad resistente de una estructura
c) La evaluación de una estructura ruinosa

Tabla 3.1. Me*todología de trabajo para realizar un diagnóstico.*

	OBJECTIVOS	**ACCIONES**	**MEDIOS**	**CRITERIOS DE MUESTREO**
	• Realizar un primer reconocimiento general de las características y del estado de la estructura del edificio • Decidir la necesidad de un diagnóstico	• Determinar el tipo de madera • Identificar el sistema estructural • Determinar la presencia de insectos • Determinar existencia de hongos • Localizar flechas excesivas, deformaciones y grietas	• Inspección visual • Croquis de la estructura • Catas y pequeñas muestras	• Visita general con más incidencia en las zonas húmedas y aparentemente más problemáticas
	• Recoger la información necesaria para poder determinar el estado de conservación de los elementos estructurales, la seguridad y las expectativas de durabilidad			
1 INSPECCIÓN PROFUNDIZADA	• Localizar las zonas en mal estado aparente y que se deberán reparar • Determinar las zonas que habrá que continuar estudiando	• Localizar todos los síntomas y todas las lesiones • Valorar la homogeneidad de las piezas y soluciones constructivas • Realizar una primera comprobación de la seguridad	• Inspección visual • Extracción de muestras • Pruebas en el laboratorio • Pruebas in situ	• Visita de todo el edificio • Inspección del 100 % de las zonas con humedades u otros problemas • Inspección variable en las zonas sin problemas

2 TOMA DE MUESTRAS Y PRUEBAS LABORATORIO	• Conocer los parámetros necesarios para realizar la comprobación estructural y la valoración de los parámetros de durabilidad	• Extracción de muestras • Realización de pruebas en el laboratorio • Pruebas in situ	• Diseño de campaña de estudio (fases) • Empresa constructora • Laboratorio	• Formación de lotes en poblaciones homogéneas • N. de muestras variable en función de los tipos de pruebas a realizar
3 COMPROBACIÓN DE LA SEGURIDAD	• Determinar el coeficiente de seguridad de los diferentes elementos estructurales	• Cálculos	• Normativas • Ábacos y tablas de cálculo	
4 VALORACIÓN DE LA DURABILIDAD	• Determinar las expectativas de durabilidad	• Análisis comparativo del estado actual y del comportamiento anterior	• Árboles de decisiones • Valores límites	
	• Dejar constancia del estado y dictaminar que hay que hacer en los elementos estructurales	• Recopilación de la información de las fases anteriores, análisis de esta y redacción de informe final	• Prediagnosis y estudios previos • Criterios subjetivos del técnico • Particularidades de la estructura o del entorno	

Tabla según: Palaia, Liliana. 1995.

3.1.1. La inspección

Establecer dónde mirar, qué buscamos y, especialmente, por qué, es una premisa inicial.

Antes de analizar estos aspectos, debemos definir tres niveles diferentes de aproximación al objeto de estudio:

- La observación del estado general del edificio
- La interpretación de la estructura existente
- La inspección individual de los elementos

Hay que invertir un tiempo en la interpretación de la estructura existente, haciendo un levantamiento de los elementos estructurales, midiendo su longitud y las secciones, identificando los medios de unión y la manera en que se hacen los apoyos en las paredes, etc.

Dentro de este punto, en cuanto al conocimiento de la estructura, intentaremos averiguar el tipo de madera empleada en la estructura original y las modificaciones o reparaciones que se han hecho.

3.1.1.1. Donde mirar. Elementos a inspeccionar

Con el fin de sistematizar las inspecciones de las estructuras de madera, daremos una relación tan completa como sea posible de las localizaciones más interesantes:

- Apoyo de las vigas y viguetas en las paredes
- Dinteles
- Grietas en las paredes
- Techos
- Madera en contacto con el terreno
- Cubiertas
- Todo elemento de madera elaborado con material de inferior calidad
- Juntos, uniones y superficies rugosas
- Carpinterías exteriores
- Muebles fijos y revestimientos de paramentos interiores de madera
- Espacios poco ventilados, que mantengan la humedad
- Bajantes, canales y conducciones de agua.

3.1.1.2. Qué mirar. Aspectos a detectar en las comprobaciones

Las cuestiones de carácter general, las señales y los indicios que nos permiten llegar a conclusiones sobre el estado de una estructura de madera puesta en obra son, entre otros:

- La composición de los elementos constructivos, las dimensiones, los medios de unión y las hipótesis sobre su funcionamiento
- La presencia de orificios de salida de insectos xilófagos
- La presencia de serrín de madera en los elementos de madera o sobre el suelo, bajo estos elementos
- La corrosión en los clavos de acero introducidos en la madera
- Las manchas más oscuras o más claras
- Las manchas con engrosamiento de la superficie.
- El desprendimiento de pintura
- El fuerte olor de humedad
- Las grietas transversales a la dirección de la fibra, signo de pudrición
- Las esporas de reproducción de hongos
- La existencia de caminos verticales, de aspecto arcilloso, que circulan en dirección a las maderas que constituyen los elementos estructurales, en paramentos verticales o, incluso, aéreos

- La composición de las paredes y pilares, mediante los cuales las termitas pueden acceder a la madera
- La alineación de los elementos
- Las evidencias de anteriores reparaciones (prótesis y sustituciones).

3.1.1.3. Por qué mirar

a. *Inspección de mantenimiento*

Supongamos que en este caso, la estructura se conoce a partir de inspecciones realizadas previamente, ya que sólo tenemos intención de comprobar su evolución.

Debemos centrarnos en la detección de los indicios siguientes:

- Elementos rotos
- Cambios dimensionales de los elementos
- Falta de efectividad de las conexiones a las uniones
- Presencia de indicios de ataques de hongos y de insectos

b. *Peritaje de una estructura*

En este caso, debemos completar los datos que ya hemos enunciado en el apartado 3.1.1., y que resumimos de la siguiente manera:

- Datos referentes a la estructura original y sus modificaciones. Esta operación requiere el conocimiento de las tipologías arquitectónicas y estructurales, y de las prácticas constructivas del momento de la construcción del edificio.
- Datos provenientes de la inspección detenida de los elementos estructurales. Es óptimo inspeccionar el 100 % de los elementos, aunque también se pueden obtener conclusiones a partir de la observación de los puntos más conflictivos como:
- Viguetas bajo balcones
- Viguetas cerca de los bajantes
- Vigas principales que se apoyan en paredes de fachada estructural
- Vigas principales que se apoyan en paredes de patios interiores
- Elementos de cubierta donde haya cambios de pendiente

c. *Peritaje de una estructura ruinosa*

En un peritaje de una estructura ruinosa, la inspección se extenderá necesariamente al conjunto de la estructura, a fin de detectar las causas posibles del siniestro. Tendremos que tener cuidado de no remover indicios durante la inspección, para que otros peritos puedan comprobar lo que ha ocurrido identificando:

- Alteraciones de la estructura, con indicación de agentes actuantes
- Elementos estructurales rotos, número y disposición a la estructura.

3.1.1.4. Condiciones en que hay que hacer las inspecciones

Hay que contar con medios auxiliares que permitan la proximidad a elementos de madera, así como también una buena iluminación.

En todas las inspecciones debemos ir acompañados por otro técnico para colaborar en las tareas de comprobación métrica de la estructura, croquis y toma de datos.

3.1.2. Prospecciones en la madera en servicio. Técnicas y equipo necesario

Por medio de las prospecciones queremos detectar:

- La consistencia de la madera, la observación de cómo se rompen las fibras superficialmente
- Los indicios de presencia de insectos y hongos
- El contenido de humedad
- La dureza superficial de la madera, como indicador de la resistencia residual del material
- La profundidad y extensión del ataque.

Los análisis de laboratorio que se hacen de manera más generalizada son fundamentalmente tres:

- Determinación de parámetros físicos y mecánicos, tales como el contenido de humedad, la densidad, la resistencia a compresión y flexión, y el módulo de elasticidad
- Identificación de la madera utilizada en el edificio
- Diagnóstico del agente causante de la alteración

Para corroborar el diagnóstico inicial del tipo de ataque que presentan las maderas se obtendrán muestras claramente alteradas, de tamaño suficiente para la observación al microscopio. El número de muestras dependerá de la apreciación de alteraciones diferentes a los elementos de madera, o bien de elementos, cuya identificación sea dudosa a simple vista.

La búsqueda de técnicas aplicables al diagnóstico de la madera en la obra tiene principalmente los siguientes objetivos:

- La «visualización» del interior de la pieza
- La simplificación del proceso de inspecciones: mediante técnicas tradicionales

- La obtención de datos cuantificables que permitan peritar las prestaciones de la madera puesta en obra
- La utilización de métodos de ensayo no destructivos.

Para llevar a cabo la comprobación estática de la estructura, se debe hacer una valoración de las lesiones ocasionadas por los diferentes agentes de alteración y comprobar el grado de estabilidad, teniendo en cuenta, además, el tipo y la calidad de la madera, las dimensiones y la disposición de los elementos estructurales.

Los factores a tener en cuenta para hacer la comprobación estática de la estructura son:

- Las alteraciones que se hayan producido en las estructuras originales debido a consolidaciones anteriores, accidentes o modificaciones producidas por nuevos programas de necesidades a desarrollar en el edificio.
- Los defectos de diseño estructural, originales del mismo edificio.
- Los movimientos dimensionales que se produzcan por variaciones del contenido de humedad en la madera.
- La desaparición, por diferentes motivos, Las vigas principales y las viguetas, que produzcan el descenso parcial de los techos.
- Los desplazamientos de paredes que hayan variado las distancias y la altura de soportes de entrevigados.
- Las grietas longitudinales que presenten las vigas y viguetas, y que afecten a su capacidad resistente.
- La inclinación de las fibras que presente el elemento estructural, así como otros defectos, como los nudos.

3.1.3. El diagnóstico

En esta fase se debe llegar al dictamen final sobre la estructura que se ha estudiado. El dictamen final será un informe que recoja la información básica:

- Toma de datos del edificio
- Descripción del edificio
- Descripción de la estructura
- Método de trabajo empleado
- Estado actual de la estructura
- Determinación del uso que tendrá la estructura, tras la intervención
- Conclusiones y recomendaciones sobre los tratamientos y el sistema que seguir para la intervención: sustitución, refuerzo y recuperación.

Las preguntas que se podrán responder después de este proceso serán:

- Se debe evacuar el edificio?
- Se debe entibar el edificio y se adoptarán otras medidas de emergencia?
- Si es necesario entibar, sería posible volver a ocupar el edifico y después de hacer la operación?

- Se puede reparar la estructura sin necesidad de interrumpir el uso habitual?
- Es realmente importante el deterioro que presenta la estructura?

Habrán determinado las causas de desajuste en el sistema estructural, que normalmente son las siguientes:

- Ha sido por sobrecargas, ya sea por viento o nieve, o debido a reparaciones efectuadas que incrementan el peso muerto
- Ha sido producido por modificación del estado de cargas y de los puntos y de la manera como se aplican
- Ha sido por fallo de los encajes y elementos de unión
- Ha sido por fractura de algunos elementos
- Ha sido por alteración del material.

3.1.3.1. Ejemplo de ficha para la toma de datos de elemento de madera

FICHA DE ANÁLISIS PATOLÓGICO DEL ALFARJE
ELEMENTO:
ESCUADRÍA:
ESTADO:
ATAQUE:

CABEZA:
Tamaño:
- Norte:
- Sur:

LOMO:
- Este:
- Oeste:
- Superior:
- Inferior:

PRODUCCIÓN:

MUESCAS:
- Tabica:
- Saetino:

OBSERVACIONES:

CONSERVACIÓN:

TRATAMIENTO:

4. Técnicas de exploración

Las técnicas empleadas para la estimación de los daños producidos por los agentes xilófagos en la madera son generalmente sencillas y requieren un equipo mínimo. Se basan principalmente en la inspección visual de la superficie complementada con el descubrimiento de zonas no visibles para determinar la gravedad del daño.

También existen otros métodos no destructivos, apoyados en tecnologías más sofisticadas que emplean equipos especiales, como los sistemas basados en la transmisión de ultrasonidos, ensayos mecánicos no destructivos, análisis de vibraciones y resistógrafos que se orientan hacia la evaluación de las propiedades mecánicas. Dentro de este grupo también existen métodos para la determinación de la actividad de los ataques xilófagos mediante la identificación de sonidos, pero su aplicación práctica es todavía escasa.

4.1. *Equipos tradicionales de exploración*

Se basan en la valoración directa, ya sea en forma visual o táctil, de la zona de madera degradada.

En primer lugar se buscarán los signos que puedan haber dejado los agentes bióticos en la superficie de la madera (como abultamientos, orificios de salida, presencia de serrín, cuarteado, etc.), de acuerdo con lo indicado en la identificación del agente degradador. Se hará hincapié en las zonas de riesgo del edificio mencionadas anteriormente, en algún caso en particular será preciso descubrir zonas ocultas por solado s o muros de fábrica.

Cuaderno de notas y lápiz:
Todas las notas y observaciones deben ponerse por escrito y estar perfectamente detalladas; esta forma de trabajo permite volver a repasar y ampliar las anotaciones. Se recomienda realizar pequeños croquis y planos que nos ayudarán en la localización de las piezas y zonas que tienen degradaciones.

Linterna o foco de luz portátiles:
En algunos casos las zonas que se inspeccionan suelen estar mal iluminadas y no permiten ver con claridad las degradaciones de la madera. Además la gran mayoría de los agentes xilófagos (hongos y termitas) realizan la degradación de la madera en zonas oscuras (rincones, sótanos, etc.), por lo que la utilización de estos medios resulta de gran utilidad.

Xilohigrómetro o medidores de humedad:
El contenido de humedad de la madera y el de los muros suele ser uno de los facto-

res más importantes para el desarrollo de algunos agentes xilófagos. Estos aparato s permiten determinar el contenido de humedad de una forma rápida.

Lupa:
En caso de dudas y para un primer análisis de las degradaciones producidas por los agentes xilófagos la utilización de una lupa de unos 10 aumentos es de gran utilidad.

Espejos:
La utilización de espejos y de varillas portaespejos permite analizar de forma indirecta zonas de difícil acceso, como las situadas debajo de so lados o las partes más bajas de la cubierta.

Martillo corriente o de pasta:
El sonido producido al golpear un elemento estructural permite estimar si se encuentra o no bajo carga. Un sonido sordo (blando, grave, sin rebote), indica que la pieza puede no estar en carga y que probablemente tenga daño s. Por el contrario, un sonido claro y ten so revela una pieza que se encuentra en tensión. Por otro lado el golpe de martillo sobre la superficie de la madera detecta las zonas atacadas en el interior al producirse un sonido hueco. El martillo de pasta se utilizará preferentemente por no dañarla superficie.

Punzón, destornillador y formón:
El punzón permite tantear rápidamente si existe degradación bajo la superficie externa de la madera. En zonas de poco espesor sirve para conocer la profundidad del ataque. Haciendo palanca con un destornillador o con un formón estrecho pueden extraerse muestras de madera atacadas para la identificación posterior del agente xilófago.

Taladro:
Una máquina taladradora de pilas (o eléctrica) de dimensiones reducidas, con brocas de pequeño diámetro (3 a 6 mm), permite conocer la profundidad y extensión del ataque sin necesidad de eliminar toda la parte destruida. La viruta de madera que se desprende también permite valorar el estado de la madera. La utilidad mayor de este instrumento está en la detección del estado de conservación de la madera de las zonas ocultas de las piezas como pueden ser las cabezas de las vigas que quedan embebidas e n el muro; en este caso e l taladro se practica desde la cara superior dirigiéndolo oblicuamente hacia la testa de la pieza.

Pinceles y brochas:
Normalmente la madera está cubierta de polvo y suciedad por lo que se hace necesaria una pequeña limpieza.

Azuela:
Se emplean para eliminar zonas de madera degradadas. Se utilizan principalmente para preparar la realización de los tratamientos curativos, aunque también se pueden utilizar para comprobar el alcance del ataque.

Cámara fotográfica:
A la hora de reflejar los daños existentes, la toma de fotos de las zonas afectad as tiene bastante importancia.

Ropa y guantes:
Para la realizar la inspección se recomienda llevar ropa adecuada (cómo da y fuerte) y guantes. En algunos casos especiales también se recomienda el uso de casco, de mascarilla y de gafas protectoras.

Endoscopio:
Este dispositivo permite acceder a zonas ocultas por medio de un tubo que incorpora espejos, lupa y linterna. El tubo se introduce a través de las tablas de madera del suelo o del techo y nos permite analizar lo que hay detrás de los mismos. Su funcionamiento es similar al del periscopio de los submarinos, pero en este caso el tubo es más flexible y admite su curvado. Algunos equipos tienen un tubo flexible de fibra óptica de 2 mm de diámetro y 1m de longitud.

Otras herramientas:
Estas herramientas incluyen, entre otras, pie de cabra, mazo, escoplo, martillo neumático, etc. Se utilizan para levantar solados, abrir falsos techos, descubrir zonas ocultas de madera como las cabezas de vigas o soportes recubiertos con morteros o yesos, etc.

Medios auxiliares:
En muchos casos para realizar la inspección será preciso contar con medios auxiliares como escaleras y andamios; que pueden incluir apeos y apuntalamientos, cuando el estado de la estructura esté cerca de la ruina.

4.2. *Técnicas especiales de exploración*

En este apartado se recogen las técnicas que se pueden emplear en la exploración de las piezas estructurales de madera. La mayoría de estas técnicas se utilizan para la estimación de las propiedades mecánicas mediante la medición de la velocidad de propagación de los ultrasonidos o de ondas de esfuerzo causadas por impactos

que hacen vibrar la pieza (ultrasonidos y vibraciones). Otras se dirigen a la determinación de la densidad de la madera como el resistógrafo, el pilodyn y la densitometría mediante rayos gamma. La dendrocronología y el método del carbono 14 sirven para la datación de la edad de la madera y finalmente la técnica de detección acústica para determinar la presencia y actividad de insectos xilófagos.

La utilización de estas técnicas no evita la inspección visual y la utilización de herramientas tradicionales junto con la experiencia del técnico y de hecho la mayoría de las investigaciones prácticas aconsejan estas técnicas como una herramienta auxiliar o complementaria de la experiencia

4.2.1. Ultrasonidos

La utilización de los ultrasonidos en los ensayos no destructivos de materiales es empleada en la madera además de en otros materiales como el acero o el hormigón. El objetivo principal es la determinación del módulo de elasticidad dinámico deducido a partir de la velocidad de propagación de las ondas y de la densidad del material. A partir de este módulo se puede deducir el módulo de elasticidad estático y estimar la resistencia.

Métodos de evaluación por ultrasonidos:

Los ultrasonidos pueden aplicarse mediante alguno de los tres métodos siguientes:

a) *Método de ecos:*

Es el más utilizado en los ensayos no destructivos de metales y otros materiales homogéneos. Este sistema sólo precisa un palpador que sirve como emisor y receptor. Emite ondas ultrasónicas que son reflejadas en la pared opuesta; en el caso de encontrar en su camino una fisura se producirá un eco que se representa gráficamente en un osciloscopio.

b) *Método de transmisión:*

Este método es adecuado en la verificación de materiales heterogéneos como la madera y el hormigón. Utiliza dos palpadores, un emisor y un receptor. La frecuencia debe ser mucho más baja que en el método de ecos, para conseguir un alcance mayor de los impulsos y poder sortear las irregularidades del material. Las ondas ultrasónicas más largas rodean más fácilmente los obstáculos que las ondas más cortas. Al reducir la frecuencia, la concentración del haz de ondas disminuye. En la práctica puede considerarse como un haz esférico. Una longitud de onda de 10cm es relativamente grande comparada con el diámetro de los palpadores, de unos 3 cm (palpadores cilíndricos).

Las propiedades acústicas de la madera varían ligeramente cuando el material ha estado sometido a cargas estáticas durante un tiempo prolongado y terminan por estabilizarse al cabo de un tiempo. Bajo solicitaciones longitudinales del orden de un 20 % de la tensión de rotura se observan disminuciones de la velocidad de propagación de los ultrasonidos de 0,6 a 6,6 %. En el caso de solicitaciones radiales y tangenciales las velocidades longitudinales disminuyen, mientras que las velocidades radiales y tangenciales aumentan de un 3 a un 5 %.

Sylvatest es un aparato portátil para medición de tiempos de transmisión de ultrasonidos con palpadores cónicos y sonda de temperatura y contenido de humedad específicamente desarrollado para madera. Puede medir tiempos en piezas con longitud de hasta 5 metros e incluye programa de proceso de datos para estimar el módulo de elasticidad, resistencia a flexión y calidad de la madera, para lo que necesita una calibración previa del material a ensayar.

PUNDIT (Portable Ultrasonic Non destructive Digital Indicating Tester) aparato portátil con generador de impulsos con una frecuencia de 54 kHz que mide el tiempo con precisión de décimas de micro segundo. Tiene dos palpadores de forma cilíndrica con una superficie de contacto de 5 cm de diámetro. Para el acoplamiento de los palpadores sobre la superficie de la madera se emplea una capa delgada de vaselina.

En Norteamérica se emplea de manera frecuente la técnica de vibraciones para la determinación de la capacidad resistente de los postes de tendidos de telecomunicaciones. El dispositivo se coloca en la zona cercana a la línea de tierra y se emiten ondas transversales de las que se analiza la frecuencia y los factores de atenuación (Anthony, Lee et al. 1998). La técnica de vibraciones inducidas ha sido utilizada para la determinación de la longitud de pilotes de puentes en Estados Unidos (Anthony et al. 1998). En la parte superior del pilote se provoca un impacto con un martillo y se genera una onda que viaja hasta el pie del poste y se refleja volviendo a registrarse. El tiempo de reflexión de la onda está relacionado con la frecuencia de resonancia del poste. La longitud del poste se deduce de la frecuencia de resonancia y de la velocidad de transmisión de la onda. La precisión que se obtiene es de ± 15 %.

Entre los dispositivos que existen en el mercado pueden citarse los siguientes:

Metriguard 239ª,
Metriguord 340.

4.2.2. Resistógrafo

El resistógrafo consiste en un taladro mecánico que realiza una perforación de 3 mm de diámetro en la dirección radial de la sección de la pieza y que evalúa la resistencia que ofrece a la perforación. El aparato es portátil y tiene una broca con un diámetro de 1,5 mm en el fuste y 3 mm en la punta, que avanza a una velocidad constante. La resistencia a la penetración se mide mediante el consumo de

potencia. Su origen se remonta al año 1985 cuando fue utilizado en Alemania para detectar la degradación en postes

(Rinn, 1996). Posteriormente evolucionó a un dispositivo diseñado por Rinn que se denominaba «Densitomat» o resistógrafo.

4.2.3. Medición de la densidad superficial

Existe un dispositivo para la estimación de la densidad en la superficie de la madera denominado «pilodyn». Consiste en un cilindro metálico en cuyo interior se aloja un muelle que se comprime mediante un mecanismo de accionamiento manual que acumula una energía de 6 julios. Se coloca sobre la superficie de la madera y al soltar el muelle se dispara una barra circular de 2,5 mm de diámetro que se clava sobre la superficie. Se mide la penetración en la madera en una escala graduada que llega a un máximo de 40 mm y este valor se relaciona con la densidad de la madera.

4.2.4. Fractómetro

Se trata de un equipo portátil desarrollado en Alemania que mide la tensión de rotura y el módulo de elasticidad en flexión radial y la energía de rotura, en una probeta cilíndrica de 5 mm de diámetro extraída en la dirección radial. En los últimos equipos desarrollado s también se puede obtener la tensión de rotura a compresión paralela en la misma probeta cilíndrica.

4.2.5. Datación de la madera

Para la datación de la madera pueden aplicarse dos técnicas diferentes en metodología y precisión de los resultados como son la dendrocronología y el carbono 14. Su interés práctico se orienta a la datación de bienes histórico-artísticos como un dato para la intervención y rehabilitación de edificios.

4.2.6. Detección acústica de insectos xilófagos

Esta técnica tiene como objetivo la detección de la presencia de insectos xilófagos dentro de la madera en fases iniciales en las que todavía no existen signos externos visibles. Se comenzó a trabajar en este campo en la década de los 80 y principios de los 90. Los primeros estudios mostraban la utilidad para detectar la actividad de las termitas cuando las obreras se encontraban trabajando e incluso podía localizarse la zona donde se encontraba el frente de las galerías.

El estudio denominado INADEC (Insect Acoustic Detection) consiste en la colocación de captadores acústicos que funcionan en el dominio audible (100

Hz-25 kHz) que transmiten la señala un módulo de recepción amplificación y filtrado que limitan la banda a frecuencias comprendidas entre 1 kHz y 20 kHz. La señal se digitaliza y puede almacenarse en un DAT (Digital Audio Tape) o enviarse directamente a un ordenador portátil para su procesado. Las señales se comparan con otras señales patrones en condiciones controladas. Por el momento está disponible para la detección de la actividad de las termitas y de los cerambícidos. Puede detectar la actividad hasta distancias de 2 metros dentro de una misma pieza y dispone de aparatos que permiten tomar lecturas a través del yeso.

5 Criterios de intervención

5.1. *Introducción*

La restauración de las estructuras portantes de madera antiguas es sobre todo una operación de carácter cultural por la decisión de conservar la integridad física de la estructura, así como las que de una manera más específica se refieren al proceso de intervención ya la diagnosis genérica y/o especializada. Por otra parte, el mismo uso puede ser entendido como pura y simple fruición cultural, con el resultado de reducir al mínimo las necesidades de intervención sobre la materia.

Los criterios a seguir en la restauración son:

- La eficiencia y la seguridad ante todo
- El respeto de la concepción estructural de la autenticidad de los materiales
- La autenticidad del sistema de reforzamiento.

Las intervenciones deben prevenir, proteger y salvaguardar, consolidar, reforzar, adaptar, defender a nivel físico-químico y biológico, documentar, controlar y permitir el mantenimiento ordinario.

5.2. *Tecnologías*

5.2.1. Nivel del sistema estructural

La actuación en todo el sistema estructural intenta primordialmente reconducir, con toda la complejidad y la uniformidad inherentes, el comportamiento del sistema, así como el de cada unidad que lo constituye y el de sus elementos estructurales.

Cuando un sistema no está totalmente asegurado en conexión con las estructuras complementarias, es necesario:

- Restablecer la geometría y la integridad de los elementos y de las unidades estructurales

- Mejorar las conexiones entre las cerchas y los elementos complementarios
- Recurrir a riostras cruzadas cuando las conexiones tienen una configuración de tipo cuadrilátero (que se deforman siempre, sobre todo si son de madera).

A nivel técnico habrá que tener cuidado al hacer las con conexiones entre la estructura y los dispositivos añadidos, (por ejemplo, collares en lugar de clavos, tornillos, soldaduras, pegamentos, etc.).

5.2.2. Nivel de les unidades estructurales

El criterio principal consiste en asegurar el correcto funcionamiento de cada una. Un caso muy concreto es el de las estructuras horizontales (techos de cubierta): por consolidarlas, reforzarlas o repararlas, se deben recuperar las resistencias de los elementos (vigas principales y vigas secundarias) y añadir unos dispositivos que, para que sean eficaces, deben aumentar la resistencia a la compresión y la de tracción.

Aparte de eso, habrá rigidizar todo el complejo con diversos recursos. El más utilizado, siempre que sea posible desmontar el pavimento, consiste en hacer una capa de hormigón, colocado en el lugar del refuerzo entre el entarimado y el pavimento.

Además, el nuevo elemento de hormigón permite unir la armadura a las paredes perimetrales, lo que hace que todo el complejo tenga un comportamiento global más uniforme.

La conexión madera-hormigón se obtiene con el uso de unos conectores de metal (redondos, de adherencia mejorada y con un diámetro que va de los 10 a los 20 mm) fijados a la viga con cola epoxídica. Puede ser sólo de cortante (cuando las dos estructuras están en contacto directo), de flexión y cortante (si hay un entablado interpuesto) o de esfuerzo normal en algunos casos concretos.

Un nuevo sistema patentado consiste en insertar láminas (de metal, de madera, de aglomerado para usos estructurales, etc.) Dentro de las vigas principales y, si es necesario, también de las secundarias.

El corte de las láminas (uno, o dos, o más), dispuestas verticalmente, se efectúa desde el trasdós, desmontando el pavimento hasta la entarimado (pero sólo lo que corresponde a las vigas a tratar), o también desde el intradós, lo cual es preferible porque se manipula menos la estructura originaria.

Aparte de estas alteraciones temporales de la configuración originaria, el sistema tiene la ventaja de ser sencillo, perceptible y reversible.

5.2.3. Nivel de los elementos estructurales

Las vigas degradadas por la flexión se refuerzan con láminas introducidas en el interior con triangulaciones de reforzamiento, con elementos resistentes a la tracción a las zonas tensionadas, con la mejora del nivel de soporte, añadiendo madera a la sección, etc.

La consolidación efectuada con la inserción de láminas resistentes se hacen unos surcos de entre 13 y 14 mm en la viga, las láminas, que tienen un grosor de 1 cm, se fijan con cola adhesiva epoxídica y, además, es aconsejable colocar en él pasadores transversalmente. De este modo, el material original que se daña es el mínimo, mientras que el aumento de resistencia que se obtiene es muy elevado.

El postesado con triangulaciones se utiliza en las vigas que están excesivamente deformadas y cuando, además de reducir la tracción y la compresión internas, se pretende limitar drásticamente la deformación.

En términos generales, las estructuras basadas en la inserción de elementos resistentes a la tracción en el intradós, (especialmente en las secciones centrales), no son del todo eficaces, porque las zonas comprimidas se benefician muy poco y muy indirectamente. Además, si la compresión ya ha dañado el elemento (la sección comprimida plastificada, grietas, etc.), Estas estructuras no se pueden aplicar.

Si se reduce el momento de flexión en las zonas centrales, se pueden obtener unos efectos muy positivos.

Otra manera de reducir los valores de los momentos de flexión consiste en actuar indirectamente. Se reduce la longitud del funcionamiento efectivo de la viga colocando unas tornapuntas metálicas en la zona de la pared que coincide con la viga.

En cuanto a las vigas vistas y los elementos secundarios, hay un sistema de origen artesanal que es muy sencillo y eficaz. Consiste en aplicar mejillas de encaje de madera o bien madera multicapa en la parte externa de la viga. No se deben utilizar láminas metálicas, porque en la interfaz madera-acero se podrían producir condensaciones que crearían condiciones favorables al ataque de los hongos.

Las vigas degradadas debido a los esfuerzos de cortante se restauran con unas láminas que se colocan en el interior de la viga, con elementos metálicos abiertos, con prótesis, etc.

5.2.4. Nivel de las conexiones y de las uniones

En términos generales, deben conservarse a menos que se decida adoptar otra solución conscientemente-la configuración original y la ductilidad.

De hecho, si se altera su eficacia, los elementos se comportan de manera diferente respecto a la situación precedente.

6. Procesos de intervención frente a problemas de comportamiento estructural

6.1. *Introducción*

Como continuación y complemento de la reflexión anterior, presentamos un recoge amplio, aunque no exhaustivo, de las técnicas y tecnologías de intervención disponibles actualmente, para dar, de manera esquemática, una idea de lo que hoy en día se puede hacer utilizando técnicas actuales o tradicionales.

Para facilitar la clasificación y la interpretación de las diferentes propuestas de intervención, se ha hecho una agrupación en cuatro grupos fundamentales, de acuerdo con los objetivos y características de cada una de ellas (tabla 6.1):

Todas las técnicas tienen su origen en la tradición constructiva, y las innovaciones que se h y han ido introduciendo no cambian nunca el planteamiento conceptual, tan sólo representan variantes de las mismas soluciones con materiales actuales.

Tabla 6.1. *Clasificación de propuestas de intervención.*

Acción	Objetivos	Zona de actuación	Soluciones
Prevención y protección	- Corregir o mejorar aspectos externos a los elementos estructurales para evitar su degradación - Reducir las exigencias de trabajo actuales	- Exterior a los elementos estructurales o en la superficie perimetral	- Eliminación de humedades - Protección constructiva - Reducción de cargas - Tratamiento protector químico - Limitaciones y recomendaciones de uso
Consolidación	- Realización de acciones puntuales en zonas degradadas de elementos estructurales para devolverlos a sus características originarias	- Directamente sobre la zona degradada por encima o por debajo de las piezas - En piezas individualizadas	- Tratamiento curativo químico - Consolidación de zonas dañadas - Atado de grietas: Abrazaderas Pasadores roscados Cosidos con barras - Sustitución de material degradado: Madera Resinas - Modificación del sistema de apoyo: Canecillos Jabalcón Viga retallo Pasamanos empotrado

Refuerzo	- Incremento de la capacidad portante actual, introduciendo nuevos elementos resistentes que trabajen conjuntamente con el existente o que reduzcan las solicitaciones a las que está sometida	Sobre el techo: - En el techo en su conjunto - En elementos estructurales individualizados	- Rigidización del techo: Losa hormigón Doblado del entablado - Incremento de la inercia: Madera Acero - Mejora del empotramiento
		Por debajo el techo: - En el techo en su conjunto - En elementos estructurales individualizados	- Incremento de la capacidad a flexión: Pasamanos horizontal Pasamanos vertical Armadura vista Armadura empotrada Perfiles laminados adosados Suplemento sección madera - Reducción de las solicitaciones: Vigas riñoneras Viga partiendo luz
Sustitución	- Poner un nuevo elemento estructural que absorba las solicitaciones mecánicas que soporta el techo actual	En todo el techo: - En el techo en su conjunto - En elementos estructurales individualizados	- Sustitución física: Madera Metal Hormigón
		Sobre el techo: - En el techo en su conjunto - En elementos estructurales individualizados	- Sustitución funcional: Metal Hormigón
		Por debajo el techo: - En el techo en su conjunto - En elementos estructurales individualizados	- Sustitución funcional: Madera Metal Hormigón

Tabla según: Casanovas, Xavier. 1995.

6.2. *Sistemas de intervención*

Un buen conocimiento de las lesiones y carencias de la estructura y de las causas que las originan nos permitirá plantearnos la solución más adecuada, como resultado de un diagnóstico adecuado.

La solución adoptada, debe adaptarse a la importancia real de las lesiones existentes y debe dar respuesta a unas exigencias básicas, que se proponen a continuación:

- Adoptar medidas preventivas y de protección, siempre que sea posible, como alternativa a otros sistemas más traumáticos
- Considerar el edificio en su conjunto y valorar la posible incidencia de los incrementos de carga de las diferentes soluciones al resto de componentes estructurales
- Aplicar un proceso respetuoso con los valores del propio elemento estructural y con el resto de componentes del edificio
- Considerar la compatibilidad entre materiales de características diferentes
- Valorar las perspectivas de durabilidad del sistema estructural resultante de la intervención
- Considerar los aspectos de mantenibilidad y mantenimiento periódico de las soluciones adoptadas.

Presentamos cuatro grupos de soluciones que responden a cuatro necesidades de intervención diferentes, según las características del problema a resolver y del planteamiento básico en la forma de hacerlo:

- Prevención y protección
- Reparación y consolidación
- Refuerzo
- Sustitución

6.2.1. Prevención y protección

Como se ha visto en el capítulo correspondiente a las lesiones y causas, la degradación de la madera puede venir dada por dos factores: los que tienen su origen en las características intrínsecas de la madera o en las solicitaciones a que está sometida, y los resultantes de agresiones bióticas o abióticas, que podemos considerar externas.

En el caso de los factores externos de degradación, se puede afrontar el problema de maneras diferentes, por la vía preventiva y de protección, con medidas sencillas y de resultados excelentes. Por otra parte, en aspectos mecánicos también hay algunas soluciones por la vía preventiva, que pueden resultar interesantes.

- Eliminación de humedades
- Protección constructiva
- Reducción de cargas
- Tratamiento protector químico
- Limitaciones y recomendaciones de uso

6.2.2. Reparación y consolidación

Cuando un elemento estructural real experimenta problemas intrínsecos, o ha sido afectado por un ataque externo biótico o abiótico en una zona limitada, la repa-

ración, la consolidación o la sustitución del material dañado resulta una opción eficaz y segura para devolver las características originarias en el elemento y para permitir que continúe en servicio.

Si la pérdida de capacidad mecánica ha sido más o menos importante y la recuperación resulta o no imprescindible, habrá que decidirse por alguna de las siguientes posibilidades. Ahora bien, previamente tendremos que haber eliminado el ataque causante de la degradación.

- Tratamiento curativo químico
- Consolidación de zonas dañadas
- Ligado de grietas

a. Abrazaderas.

b. Pasadores enroscados.

c. Cosido con barras.

- Substitución de material degradado

a. Con madera

b. Con resinas

- Modificación del sistema de apoyo

a. Canecillos o cuello falso.

b. Tornapunta.

c. Viga de zunchado.

d. Zuncho empotrado.

6.2.3. Refuerzo

Hay estructuras en las que el escuadrado original de los elementos resistentes resulta insuficiente para dar respuesta a las exigencias de servicio actuales o previstas. Para afrontar el problema, hay que actuar con un incremento de la capacidad mecánica mediante la aplicación de sistemas de reforzamiento. A menudo esta necesidad viene dada por un cambio de uso del edificio o por una adaptación a la normativa vigente.

También nos vemos en la necesidad de reforzar cuando queremos conservar piezas que han sufrido una degradación generalizada y cuando la recuperación de la

sección resistente perdida no ofrece suficientes garantías de seguridad en la aplicación de las técnicas de reparación o consolidación que hemos comentado.

Cuando nos planteamos una acción de reforzamiento, hay que pensar que estamos en un buen momento para introducir mejoras al sistema estructural rigidizando-lo horizontalmente, por tu obtener mejores respuestas posibles esfuerzos horizontales.

6.2.3.1. Rigidización del techo

Los pasos a seguir en la realización de estos trabajos serán básicamente los siguientes:

- Derribo y desmontaje de tabiques, pavimentos y otros materiales situados sobre el techo, hasta llegar a la cara superior de las vigas y de las bovedillas o entrevigado, y terminarlos perfectamente limpios y saneados.
- Apeo del techo y ligera recuperación de la flecha. Esta operación resulta muy importante, ya que durante la realización de los trabajos, la chapa de hormigón fresco representa un incremento de carga significativa sin que sea ninguna mejora. Es recomendable contraflechar si queremos obtener una colaboración entre la madera y el hormigón, como viga mixta, sin tener mayores deformaciones.
- Formación de oquedades u otro sistema de anclaje de la futura losa de hormigón en las paredes perimetrales. A menudo se aconseja la conexión con un zuncho de hormigón en la pared, pero su realización resulta muy compleja, y si no se hace con muchas precauciones puede ser peligrosa para la estabilidad del conjunto.
- Fijación de conectores a las vigas. Los conectores suelen ser tornillos de rosca de lima roscados o fijados con resinas, o pasadores fijados a los lados de la viga. Los tornillos de rosca de lima son de unos 15 centímetros de largo y dejan fuera la viga unos 5 centímetros, como anclaje.
- Protección del techo existente con plástico, para evitar que esté en contacto con la humedad que producirá el hormigón fresco.
- Colocación de la malla electrosoldada en toda la superficie del techo y otros armaduras que se consideren convenientes en la conexión con la pared, como zuncho, incluso, como posible reforzamiento en las enjutas de las vigas.
- Realización de la losa de hormigón, de un espesor entre 4 y 8 centímetros.

En el caso de techos muy deformados, se logró previamente un plano sensiblemente horizontal con materiales ligeros, para no sobrecargar el techo.

- Desapuntalamiento, una vez el hormigón haya alcanzado la resistencia requerida, con las precauciones necesarias para la puesta en carga del nuevo sistema.

6.2.3.2. Incremento de la inercia de las piezas

Aumentar el canto y la sección de un elemento estructural, conlleva un incremento de la inercia y consecuentemente una mejora de su capacidad resistente a flexión.

Podemos sintetizar la actuación a realizar en las siguientes acciones:

- Apeo del techo
- Derribo y desmontaje de tabiques, pavimentos y otros materiales situados sobre el techo, hasta llegar a la cara superior de las vigas y los revoltones o entrevigado y tenerlos perfectamente limpios y saneados.
- Colocación y fijación del material escogido para incrementar el canto. En el caso de la madera, la nueva pieza, debe reunir características muy parecidas a la pieza existente, como ya se ha comentado en la sustitución del material degradado, se fijará con cola y tornillos de rosca de lima.

Si el material es el acero, tenemos los perfiles laminados, que fijaremos con tornapuntas de rosca de lima o con bridas, y los atados de canto, que introduciremos en una ranura hecha en la cara superior y fijaremos con resinas y / o pasadores.

- Realización de un nuevo pavimento de acabado, evitando incrementar las cargas muertas del relleno del entrevigado.

6.2.3.3. Mejora del empotramiento

El grado de empotramiento que las vigas de madera presentan en el apoyo a las paredes, suele ser escaso. Incrementar el grado de empotramiento, es decir forzar la viga a trabajar a negativos, nos permite reducir los momentos positivos y, por tanto, aumentar la capacidad portante.

Dar continuidad a las vigas enfrentadas en paredes interiores y convertir las cabezas de viga, en las paredes de fachada, en tirantes produce una mejora en el comportamiento del conjunto estructural, sobre todo, a efectos de posibles solicitaciones horizontales. Este tipo de medida también repercute favorablemente en el comportamiento de las diferentes piezas, incrementando su capacidad de carga y reduciendo la flecha. Antes de realizarla es necesario descargar el techo y entibar, recuperando la deformación a flexión existente.

Esta es una medida difícilmente cuantificable en cuanto al grado de mejora que podemos obtener. En general, podemos decir que resulta positiva cuantitativamente y aprovecha una de las características fundamentales de la madera, el comportamiento similar a compresión y tracción.

6.2.3.4. Incremento de la capacidad a flexión

La necesidad de reforzar elementos estructurales de madera a menudo se debe a una falta de capacidad a flexión y, aunque ya hemos visto algunos sistemas que mejoran interviniendo por la cara superior del techo, resulta más sencillo y eficaz hacerlo por debajo, si con esto no dañamos ningún valor estético.

Esta vía de solución es la que presenta el mayor número de posibilidades alternativas, tanto desde la tradición constructiva como desde la aplicación de las nuevas técnicas o materiales de intervención.

Aportar un material de una elevada capacidad a tracción, en la zona donde los momentos positivos son mayores, es el objetivo fundamental de casi todas estas soluciones.

La pieza reforzada habrá obtenido un incremento considerable en sus posibilidades de trabajo a flexión y, consecuentemente, una mayor exigencia de capacidad de la cabeza comprimida, aspecto que no podemos olvidar y que habrá que valorar suficientemente en adoptar soluciones por esta vía. Sea cual sea la alternativa escogida hay una serie de acciones comunes, tales como:

- Descarga del techo, tanto como sea posible
- Entibación del techo para recuperar la deformación existente. Hay que tener cuidado de no causar lesiones en las paredes ni a otros componentes del edificio
- Preparación de las piezas y de su entorno, con el fin de permitir la aplicación del sistema de refuerzo elegido
- Instalación del reforzamiento
- Retirada del apeo, con las precauciones necesarias para una correcta puesta en carga del refuerzo realizado.

6.2.3.4.1. Actuaciones concretas

a. Atado horizontal. Consiste en la colocación de un perfil de acero plano, en la cara inferior de la pieza, en la zona donde los momentos positivos son importantes

b. Atado vertical. En este caso, el perfil de acero se pone de canto y empotrado en la zona central de la sección. La inercia de la pieza resulta mucho más elevada

c. Perfil laminado en T. Una alternativa que reúne las virtudes de los dos sistemas anteriores y también sus inconvenientes es el uso de perfiles laminados en T, empotrados en la cara inferior de la pieza.

d. Armadura empotrada. Consiste en la colocación de una o más armaduras de acero u otro material, en el interior de la pieza a reforzar, en la zona de momentos positivos máximos

e. Armadura vista. Si disponemos de un espacio libre bajo el elemento estructural y resulta importante conservar la imagen actual de la cara inferior del techo, podemos aplicar el sistema anterior, con una mejora importante de la capacidad de trabajo. Consiste en llevar la armadura hasta unos 15 o 20 cm por debajo de la pieza, en la zona central, y provocar la inflexión con una biela metálica. En este caso, el postensado puede ser tan importante como los puntos de apoyo nos permitan.

f. Suplemento sección de madera. Adosar nuevas piezas suplementarias a la zona de momentos positivos mayores representa un incremento de sección de madera y, por tanto, de capacidad mecánica.

g. Adosar perfiles laminados. Junto con los zunchos horizontales, adosar perfiles laminados en U o en L ha sido una solución históricamente muy utilizada.

6.2.3.5. Reducción de las solicitaciones

Consiste en modificar el sistema estructural de manera elemental poniendo una o dos vigas traveseras partiendo la luz libre del techo, en función de su longitud, y la escuadría de las piezas.

El problema de éste sistema, es que modifica los diagramas de esfuerzos de las viguetas pudiendo causar nuevas deformaciones e incluso roturas.

6.2.3.6. Cálculo de los refuerzos

Hoy, en el cálculo de elementos estructurales de madera hay una amplia experiencia que nos permite proyectar nuevas estructuras sin dificultades en este sentido. También disponemos de trabajos interesantes que nos dan directrices claras en la validación de las estructuras existentes.

Calcular los diferentes sistemas de refuerzo presentados en este capítulo, presenta mayores dificultades. No hay una experiencia amplia, ni trabajos de investigación que nos den propuestas concretas para cada uno de ellos, si bien, debemos intentar aplicar las hipótesis de cálculo más cercanas a cada solución para disponer de una aproximación teórica que siempre resulta clarificadora.

Las dificultades que presenta el cálculo de refuerzos vienen dadas por el uso de materiales con módulos de elasticidad muy diferentes del de la madera y la importancia que adquiere el esfuerzo rasante en todas las soluciones mixtas. En el primer aspecto, aceptando que la teoría de la elasticidad es aplicable a la madera, hay que determinar las secciones equivalentes y en cuanto al esfuerzo rasante, hay que considerar la diferencia de tensiones entre los dos materiales en contacto.

6.2.4. Sustitución

6.2.4.1. Sustitución física

Como se ha comentado, la sustitución física de los elementos estructurales no es una práctica habitual en edificios existentes y sólo se aplica en elementos puntuales o en grandes intervenciones de renovación total del edificio.

6.2.4.2. Sustitución funcional

La sustitución funcional ha sido una solución ampliamente aplicada a lo largo del tiempo y, aunque pueda parecer contradictoria con la lógica constructiva, resulta muy eficaz y económica. Poner una nueva viga debajo, al lado o sobre la viga dañada, o situar un nuevo techo, debajo o encima de lo que se encuentra en mal estado, recoge toda la concepción de esta manera de intervenir.

7. Técnicas de carácter estructural

7.1. *Descripción general de las técnicas*

En los apartados siguientes se describen algunas soluciones para la consolidación o el refuerzo de las piezas estructurales utilizando diferentes técnicas según los materiales que emplean. Estas actuaciones pueden clasificarse en los siguientes grupos: utilización de apeo, utilización de perfiles metálicos, soluciones con hormigón, soluciones con madera y soluciones con resinas epoxi

La primera consiste en una intervención mínima que pretende mantener, a veces con carácter temporal, la estabilidad del elemento constructivo sin apenas modificar su estado. Dentro de este apartado se encuentran todas las soluciones de apeo, disposición de elementos parteluz o de recalce de los apoyos defectuosos. Son soluciones económicas cuyo resultado queda visto por lo que el aspecto estético o funcional no es bueno.

La segunda utiliza perfiles metálicos de refuerzo que en algunos casos dan lugar a soluciones pobres desde el punto de vista estructural y estético, como pueden ser los refuerzos o sustitución parcial con perfiles adosados. Sin embargo, con este material es posible la fabricación de piezas especiales para solucionar problemas estáticos complejos, como pueden ser los encuentros con la fábrica o el añadido de atirantados para mejorar el diseño de armaduras de cubierta.

La tercera hace referencia a la utilización del hormigón en soluciones de sustitución de las piezas de madera, a veces dejando la estructura como un simple encofrado sin función estructural, como por ejemplo en el refuerzo de los forjados. Recientemente su aplicación más prometedora es el empleo como parte de una estructura mixta de madera y hormigón. Un claro ejemplo es la disposición

de capas delgadas de hormigón armado conectadas a las viguetas de un forjado, cuyo principal problema de ejecución radica en la conexión a rasante entre ambos materiales.

La cuarta alternativa se centra en la utilización de la madera para la consolidación o el refuerzo de la estructura. En muchos casos el refuerzo puede consistir simplemente en el adosado de nuevas piezas de madera a las existentes. También puede recurrirse a la sustitución de las piezas inservibles por otras nuevas, con la simplificación de las operaciones constructivas. En la sustitución de elementos de madera también se puede utilizar la madera laminada encolada o productos derivados de la madera de alta resistencia como la madera microlaminada (LVL) o la madera laminada en tiras (PSL), sobre todo cuando no sea posible encontrar escuadrías grandes o piezas con largos suficientes en madera maciza.

El empleo de tableros derivados de la madera (tableros contrachapados, tableros de partículas y tableros de virutas de virutas) puede servir para plantear soluciones mixtas muy ligeras. Tienen como resultado soluciones de menor eficacia estructural frente a las de madera hormigón. Finalmente, existe la posibilidad de la aplicación de la tecnología de las resinas epoxi, que suponen una amplia gama de soluciones de alta eficacia, que combinan elementos de refuerzo (generalmente de materiales compuestos) encolados a la madera. Son soluciones limpias en el resultado, eficaces desde el punto de vista estructural, pero de costo elevado en algunas situaciones.

7.2. *Actuaciones sobre los apoyos de las vigas*

7.2.1. Apeo sobre una línea adosada al muro

Se trata de una solución que es frecuente encontrarla en estructuras antiguas que ya han sufrido daños de pudrición en las cabezas de las vigas. Consiste en disponer una nueva línea de apoyo adosada al muro mediante una carrera, generalmente de madera, que descansa en ménsulas de piedra que se empotran en el muro. A veces, apoya sobre pies derechos adosados, también, al muro. Sus inconvenientes principales radican en que la carga que transmiten al muro queda descentrada respecto a su eje, en el caso de apoyo sobre ménsulas, lo que provoca una flexión en el muro que favorece su tendencia al desplome; por otro lado, si no se corrigen las causas de la pudrición, ésta puede seguir avanzando y afectar también a la carrera.

7.2.2. Refuerzo del apoyo mediante perfiles metálicos

La utilización de los perfiles metálicos como refuerzo de las zonas de apoyo de las vigas es un recurso frecuente en obras de reparación antiguas y que presenta un carácter poco elaborado o de emergencia. Una de las posibilidades se orienta a la disposición de una estructura de apeo a modo de emparrillado y que consta de una o dos carreras, dependiendo de la extensión de la pudrición, en posición

paralela al muro de apoyo, que descansan sobre otras vigas paralelas a la dirección del forjado que apoyan sobre los muros de carga. Generalmente, el hueco entre las carreras se maciza en parte con una bovedilla fabricada con ladrillo retacando el hueco superior, para evitar desprendimientos del entrevigado.

Una versión de mayor consistencia es el adosado de perfiles metálicos, generalmente perfiles de tipo UPN, que solapan con la madera sana en una longitud del orden de los 50 a 80 cm y se conectan mediante pernos a la madera. La experiencia práctica de esta solución da lugar a un costo superior a la sustitución de la zona de forjado afectado. Por otro lado, como la conexión con elementos mecánicos de fijación (pernos, clavos, etc.) requiere una deformación para su entrada en carga, la solución puede ser excesivamente deformable comparada con la estructura original. En la misma figura se describe una solución de alargamiento de la longitud de la pieza mediante un herraje en el interior de la sección, de mayor eficacia que la anterior.

7.2.3. Soluciones con aporte de madera

La consolidación y refuerzo adosando piezas de madera unidas con medios mecánicos tiene un comportamiento similar al de los aportes metálicos. La solución más inmediata es la de adosar dos piezas de madera nuevas uniéndolas mediante pernos, clavos o bridas metálicas, en un tramo de longitud suficiente en la madera sana. Probablemente sea más sencillo adosar una nueva vigueta en todo el largo de la dañada, sin molestarse en eliminar la antigua.

Las soluciones analizadas en dicho estudio consisten básicamente en empalmes de las piezas mediante un corte oblicuo. Las piezas tenían secciones de 150x 250 mm. La primera solución es de corte oblicuo en la cara de la pieza y se refuerza con espigas de madera de roble. La pendiente del corte es tal que la longitud, 1, de la unión es 3 veces el canto, h, de la viga. La eficacia a flexión de esta solución en el caso de madera de conífera es de tan solo 0,20 y 0,24 en rigidez. También se puede proponer una variante de la anterior en la que se añaden cuatro pernos perpendiculares al plano inclinado; la situación mejora ligeramente alcanzando una eficacia en flexión de 0,35 y una eficacia en la rigidez de 0,27.

La mayor eficacia se observa en el empalme según un plano oblicuo realizado en el canto de la pieza. En este caso la pendiente del plano de corte cumple la relación longitud/ancho de la viga igual a cuatro. La unión se reforzaba con pasadores metálicos de 1 a 2 mm de diámetro. La eficacia en flexión era de 0.34 y en rigidez de 0,59.

En resumen estas soluciones presentan eficacias muy bajas y solo podrían ser empleadas en zonas de la viga donde la flexión sea muy reducida, como es el caso de las zonas de apoyo. Sin embargo, el estudio anterior no analiza la situación de cortante elevado con baja flexión, sino que los ensayos se realizaron únicamente en flexión pura.

Para alcanzar eficacias elevadas en este tipo de soluciones hay que recurrir al encolado como medio de unión. Sobre este aspecto pueden comentarse las investigación es realizadas con uniones de piezas por empalmes encolados (Landa, 1997 y 1999). En este estudio se analizaran básicamente tres tipos de soluciones consistentes en reparar la pieza mediante otra pieza unida por un empalme encolado con resinas de resorcina.

La unión por empalme de caja y espiga recta puede realizarse con una o varias espigas. Su eficacia es del orden de 0.50 a 0.60.manteniendo la relación entre la longitud, 1, y el ancho de la viga, b, mayor o igual a 8 (l/b=8). Puede también realizarse con varias espigas, lo que permite reducir la longitud de las mismas.

La unión por empalme oblicuo en la cara de la viga alcanza una eficacia en flexión de 0,85 y de 0,97 en rigidez, cuando la pendiente del plano oblicuo es de ¼ y se refuerza la zona traccionada con clavijas de madera dura. El efecto de las clavijas es fundamental ya que sin ellas la eficacia en flexión baja a 0.27.

La utilización de las resinas de resorcina para el encolado de las piezas requiere unas precauciones, como ocurre con todo tipo de encolado, como es el control de la temperatura del local, el contenido de humedad de la madera y la presión de encolado. La temperatura mínima recomendable es de 20ºC. La humedad de la madera no debería superar el 15 o 17 % y en el prensado se recomienda una presión mínima de 0.5 N/mm^2. No debe descartarse el empleo de adhesivos de resinas epoxi en lugar del uso de resorcinas, por las ventajas de su retracción despreciable.

7.2.4. Soluciones con formulaciones epoxi

La solución más representativa de la aplicación de las resinas epoxi es la sustitución de la parte dañada de la cabeza de la viga por un mortero de formulación epoxi que se conecta a la madera sana a través de barras de materiales compuestos (por ejemplo resina de poliéster reforzada con fibra de vidrio). Este procedimiento es objeto de la patente conocida como «Sistema Beta».

Su ejecución consta de las siguientes operaciones:

a) Apeo de la viga o vigas sobre la que se va actuar y corte de la zona degradada de la cabeza mediante una moto sierra llegando a la madera sana. Normalmente se efectúa un corte transversal, pero es recomendable realizar un corte oblicuo o con cierto dentado para mejorar la transmisión de los esfuerzos de corte.

b) Realización de los taladros en la parte sana de la madera, para el alojamiento de las barras de refuerzo. Éstos, tienen un diámetro ligeramente superior al de la barra para facilitar el llenado con la formulación. Generalmente, se utilizan diámetro s

de 28 mm para barras de 20 mm de diámetro, disponiendo cuatro barras. Estos taladros se inician desde la cara superior de la viga, por facilidad de ejecución, y con un ángulo de 20 a 30º.

c) Instalación de las barras de refuerzo en los orificios, teniendo la precaución de limpiar su superficie para no perjudicar la adherencia.

d) Montaje de un encofrado que restituye la parte pérdida de la madera. Este encofrado puede ser construido con tablero de partículas si es desechable, aunque a veces se emplea un encofrado de madera que queda visto, o para pintar, formando la parte de mortero epoxi.

e) Vertido de un mortero epoxi en el encofrado. Este mortero está constituido por la resina epoxi y el endurecedor mezclado con arena y gravilla de cuarzo, con el fin de conseguir un módulo de elasticidad mayor, una disipación del calor generado en la polimerización de la resina y un abaratamiento del coste de material.

f) Rellenado de las holguras que quedan entre las barras de conexión y la madera con una formulación epoxi más fluida (normalmente se emplea sin cargas), que sirve para el anclaje de las barras.

En algunas ocasiones no es posible el acceso desde la cara superior y se recurre a trabajar desde abajo y sobre las caras laterales; los taladros se realizan en planos horizontales y con dirección oblicua respecto al eje de la viga. Si la sección no se encuentra muy deteriorada y queda un área suficiente para garantizar el apoyo puede no ser necesario cortar la cabeza y únicamente proceder a eliminar por completo con hacha o azuela la parte destruida, hasta llegar a la madera sana. Se reconstruye con mortero epoxi vertido en un encofrado y se conecta a la madera mediante algunas barras de refuerzo.

Por el contrario, si la zona deteriorada es grande y se puede desmontar la viga, es posible sustituir la madera eliminada por otra pieza de madera nueva o procedente de restos de otras vigas. La conexión entre ambas piezas se puede realizar mediante barras de refuerzo dejando una junta de contacto entre ambas que se rellena con formulación epoxi. La madera que se aporta deberá tener un contenido de humedad similar al de la madera a reparar.

Una solución menos frecuente es el empleo de placas de refuerzo para la consolidación de la cabeza. Las operaciones para la ejecución son las siguientes.

a) En primer lugar puede eliminarse la parte degradada llegando a cortar por la madera sana. Si no se desea eliminar esa zona puede consolidarse con algún tipo de impregnación o inyección con formulación epoxi. Esta opción tiene el inconveniente de que al no existir un corte no se puede conocer, con precisión, el estado de la madera en la zona de conexión.

b) A continuación se ejecutan los cajeados para el alojamiento de las placas. Esta operación se realiza con una moto sierra acoplada a un sistema de guías para evitar desviaciones y regular la profundidad de la caja.

c) En estas cajas se insertan con holgura al menos dos placas de refuerzo que pueden ser de acero o de materiales compuestos (resina reforzada con fibra de vidrio). La anchura de la caja debe dejar una holgura suficiente para que la formulación se cuele con facilidad (como orden de magnitud será de unos 4 mm a cada lado de la placa). La longitud de anclaje de la placa en la zona sana de madera puede determinarse por cálculo, y suele estar entre 2 y 2,5 veces el canto de la placa.

d) Finalmente, puede ser necesario colocar una placa de apoyo sobre el muro para que la carga concentrada de las placas verticales no provoque un corte o aplastamiento local en el muro.

7.3. *Actuaciones sobre piezas sometidas a flexión*

7.3.1. Introducción

El problema principal que presentan las piezas que trabajan a flexión, como es el caso de los forjados, como se ha visto anteriormente, se encuentra relacionado con la degradación biótica de los apoyos. Sin embargo, hay ocasiones en las que el problema tiene que ver con la pieza en toda su longitud. Esta situación, generalmente, está relacionada con una sección insuficiente para soportar las cargas con una tensión o una deformación admisible. La aplicación de una normativa de acciones más exigente puede invalidar, o dejar fuera de norma, una estructura.

A veces, el problema se presenta como consecuencia de un ataque biótico en el vano de la pieza, o existen roturas debidas a defectos de la madera de una importancia excesiva en una sección concreta. Las actuaciones que en este apartado se describen están orientadas a un aumento o refuerzo de la capacidad portante del conjunto del forjado y su finalidad es facilitar o sugerir el diseño de una solución concreta al problema que se presente.

7.3.2. Soluciones con aporte de madera

En forjados en los que su capacidad resistente no es suficiente, una de las primeras y más sencillas soluciones que no debe dejar de plantearse es la adición de nuevas piezas adosadas o intercaladas a las originales. Su ejecución es fácil, siempre que el apoyo de las viguetas se pueda realizar sobre otra pieza sin necesidad de hacer nuevos cajeados en el muro. Los problemas que pueden presentarse se encuentran en que las piezas originales tienen, por lo general, una deformación remanente mientras que las nuevas son rectas.

7.3.3. Aplicación de la tecnología de las resinas epoxi

Es frecuente encontrar el caso de forjados en los que alguna de sus viguetas ha sufrido una rotura en el vano. Generalmente, está relacionada con un defecto local, como un nudo, que tenga un tamaño demasiado grande. La consecuencia de un fallo en una de las viguetas es que cede y deja de soportar su carga correspondiente y sobrecarga las adyacentes. Para recuperar la continuidad pueden emplearse los sistemas que a continuación se describen.

Consolidación con placas de refuerzo internas:

La utilización de placas interiores de refuerzo es una de las soluciones más cómodas para ejecutar y que presenta una gran rigidez en la conexión. Para ello se deberá colocar la viga en la posición original y apearla debidamente. Desde la cara superior se realizan cajeados para introducir al menos dos placas de refuerzo con una longitud de anclaje suficiente para la transmisión del momento flector y cortante que se den en la sección. El anclaje debe hacerse sobre madera sana.

a) Realización de los cajeados con una moto sierra provista de guías y tope de regulación de profundidad de la escopleadura. La anchura de la caja será suficiente para permitir el vertido de la formulación.

b) Vertido parcial de la formulación epoxi hasta rellenar una tercera parte de la profundidad del cajeado.

c) Introducción de las placas de refuerzo haciendo que la resina fluya por las holguras.

d) Llenado con la formulación epoxi hasta enrasar con la cara superior de la pieza.

Consolidación con barras de refuerzo:

La instalación de barras de refuerzo, a modo de armadura, en ranuras practicadas en la superficie de la pieza o bien en las caras laterales o en la superior e inferior, permite consolidar un punto intermedio del vano de una viga, y constituye una solución similar a las mencionadas anteriormente.

Refuerzo con barras inclinadas:

En las secciones de grandes escuadrías es inevitable la aparición de grandes fendas que tienden a dividir la sección original en dos piezas acopladas. Estas fendas se producen como consecuencia del secado de la madera que provoca contracciones mayores en la dirección tangencial que en la radial, de tal forma que las grietas

son radiales y suelen afectar al plano medio de la sección. Estas fendas también aparecen en las caras superior e inferior. Las consecuencias de este fendado están poco estudiadas, pero es de esperar que la rigidez de la viga disminuya en cierto grado, aunque es difícil de evaluar.

Reconstrucción de la parte superior de la sección de la viga mediante mortero epoxi:

Para recuperar la sección original puede procederse a la eliminación con azuela de la madera destruida hasta llegar a la madera sana. A continuación se insertan unos conectores que pueden ser barras de poliéster reforzado con fibra de vidrio situadas en taladros realizados desde la cara superior. Con la ayuda de un pequeño encofrado en los laterales se rellena el volumen original con un mortero epoxi. Este mortero debe contener un elevado porcentaje de carga, con el fin de aumentar el módulo de elasticidad y reducir el gasto de resina.

En general, la adherencia entre la resina y la madera es suficiente para la transmisión de los esfuerzos rasantes debidos al esfuerzo cortante, pero normalmente se añaden los elementos de conexión, antes citados, para garantizar la unión y evitar un posible efecto de despegue perpendicular a la superficie de contacto.

Aumento de la sección de la viga mediante piezas de madera encoladas:

La madera que vaya a utilizarse como suplemento deberá tener un contenido de humedad lo más próximo posible al de la madera a reforzar (la tolerancia puede estar alrededor del ± 2 o 3 %). Para ello las piezas de madera nueva, después del secado, deberían almacenarse en los locales del edificio, apiladas sobre rastreles, el tiempo necesario para que adquiera la humedad de equilibrio con el ambiente. Cuando la escuadría de la pieza de refuerzo es muy grande, el secado es más lento y difícil, por lo que puede plantearse un refuerzo con piezas de menor grosor que pueden encolarse durante el montaje formando un laminado.

Refuerzo con armadura longitudinal de resina reforzada con fibra de carbono:

Este sistema emplea como material de refuerzo un laminado fabricado con un material compuesto de fibras de carbono con una matriz de resina epoxi, patentado por Sika S.A. con el nombre de Carbodur (Sika, Prontuario, I.999). Primero se aplica una capa de resina epoxi de 1mm de espesor sobre el soporte que va a reforzarse. El laminado de fibra de carbono se impregna con una capa de resina de 1 a 2 mm de espesor y se coloca sobre la superficie del soporte. Con un rodillo se presiona el laminado hasta que el adhesivo rebose.

7.3.4. Soluciones de sustitución con hormigón

El empleo del hormigón en la consolidación o reparación de forjados de madera sólo tiene sentido en las soluciones mixtas, en las que colabora de forma solidaria con la madera. Una tendencia que se daba anteriormente y que todavía mantiene cierta vigencia era la práctica de reforzar el forjado de madera con una capa gruesa de hormigón armada con un mallazo. La confianza en estas soluciones se basa en que las cargas se reparten transversalmente y en caso de que exista alguna pieza débil o dañada, quedaría relevada por las contiguas. Sin embargo, el peso propio aumenta de manera desproporcionada para la ganancia que se obtiene, además del peligro que existe si no se ha comprobado realmente el estado de las piezas dañadas y de los apoyos.

- Losa de hormigón armado sobre el forjado
- Losa de hormigón armado sobre nervios principales

7.3.4.1. Tipos de conexiones

Las conexiones pueden clasificarse por su rigidez y de manera aproximada en los tipos siguientes:

a) Con clavijas
b) Con conectores de superficie
c) Con cajeados en la madera
d) Con uniones encoladas
e) Perfilería y celosías

7.3.5. Recomendaciones constructivas

En primer lugar se procede al apeo del forjado para que la carga del hormigón fresco no provoque tensiones de flexión en la madera, que disminuirían la capacidad final del conjunto.

Debe tenerse en cuenta que una capa de hormigón de 5 cm supone un peso de 100 Kp/ml. En caso de no proceder así, las piezas de madera deberán resistir la carga muerta del peso propio del hormigón que además provocará una deformación inicial. La capacidad de carga final será más reducida que si se apea. Las únicas ventajas serían la no utilización del apeo y las menores necesidades de conexión entre madera y hormigón.

La humedad de la madera debe estar cercana a la humedad de equilibrio higroscópico del ambiente, con el fin de evitar posteriores movimientos por desecación. Los herrajes de conexión deberán estar protegidos contra la corrosión. Generalmente, se suele colocar un plástico entre la madera y el hormigón para evitar que éste pueda escaparse entre las juntas y manchar la madera por debajo.

Finalmente, algunas maderas como el alerce contienen extractos de azúcares que pueden impedir o retrasar el fraguado del hormigón si se dejan en contacto sin la separación antes comentada.

7.3.6. Soluciones mixtas de madera y tablero

De manera análoga al refuerzo de un forjado con una capa de hormigón puede plantearse el empleo como material de refuerzo una o dos capas de tableros derivados de la madera. Este procedimiento ha sido utilizado en la construcción con madera a través de los paneles de caras en tensión (viguetas de madera con dos paramentos de tablero) y en paneles con tableros en la cara superior, al menos en obra nueva. Sin embargo, no es muy empleado en el refuerzo de estructuras existentes, tal vez por las dificultades que entraña para conseguir una planeidad adecuada para lograr una correcta conexión entre las viguetas y el tablero.

7.3.7. Soluciones con acero

Refuerzo mediante perfiles metálicos:
La utilización de perfiles y pletinas para la reparación de roturas de vigas es uno de los recursos más inmediatos que aparecen en la consolidación puntual de obras antiguas. Suelen consistir en la recuperación de la continuidad de la viga mediante perfiles o pletinas adosadas que se unen a la madera mediante elementos de fijación mecánicos (tirafondos y pernos).

Refuerzo con atirantado metálico y enanos comprimidos:
La disposición de tirantes de acero en la parte inferior de la viga permite aumentar la inercia de la pieza, quedando el tirante traccionado y la viga comprimida. El tirante se apoya y se distancia de la viga a través de enanos metálicos que quedan comprimidos. Presenta el inconveniente de las dificultades de anclaje del tirante en los extremos de la pieza, que en algún caso exigen desmontar la viga.

Sustitución estructural de la madera con perfiles metálicos:
Recientemente algunas empresas comercializan bajo patente sistemas de refuerzo de forjados de madera utilizando perfiles de acero colocados por debajo de cada una de las viguetas degradadas. Uno de ellos consiste en la disposición de un perfil de tipo IPE que lleva otro perfil en U soldado al ala superior. El hueco del perfil en U se rellena parcialmente con mortero de cemento de alta resistencia. El apoyo en los muros extremos se realiza mediante una base metálica con anclajes mecánicos o químicos según las características del muro. Este herraje de apoyo permite un tensado o apriete para alcanzar la entrada en carga del refuerzo; el mortero rebosará del perfil.

8. Sistemas preventivos y curativos frente a problemas bióticos y abióticos

8.1. *Durabilidad natural e impregnabilidad*

Se entiende por durabilidad natural de una especie de madera, la mayor o menor resistencia que ofrece a la degradación causada por los organismos xilófagos.

Una especie determinada de madera puede presentar durabilidades diferentes respecto a los diversos agentes destructores.

La impregnabilidad de una madera es la mayor o menor disposición de una especie de madera a la penetración de los líquidos. Así, generalmente, la albura es más impregnable que el duramen.

Tanto la durabilidad natural como la impregnabilidad no tienen ninguna relación con la densidad o con la dureza de las maderas.

La normativa europea aporta una información bastante completa sobre ambas propiedades en relación con las principales especies de madera utilizadas en la construcción en Europa (EN 350. partes 1 y 2 y EN 460).

8.2. *Tipos de riesgo*

Se llama tipo de riesgo a las condiciones de puesta en servicio de una madera que determinarán la posibilidad de que sea atacada o no por uno o más agentes destructores bióticos.

Tipo de riesgo 1: situación en la que un elemento de madera está cubierto, completamente protegido de la intemperie y no expuesto a la humidificación en servicio. En este ambiente, la humedad de la madera maciza es tan baja que el riesgo de ataque por mohos, hongos cromógenos u hongos de pudrición es insignificante. La madera se mantiene con un contenido de humedad inferior al 20 % en todo momento a lo largo de su vida en servicio.

Tipo de riesgo 2: situación en la que el elemento de madera está cubierto y completamente protegido de la intemperie, pero en el que se puede dar una exposición ocasional a una humedad ambiental elevada. En este ambiente el contenido de humedad de la madera maciza sobrepasa ocasionalmente el 20 %, afecta a la pieza en parte o totalmente y permite, por tanto, el ataque por hongos xilófagos.

Tipo de riesgo 3: situación en que é el elemento de madera está al descubierto, pero no en contacto con el suelo. Puede o no estar permanentemente expuesto a la intemperie, pero en cualquier caso está sometido a una humidificación frecuente. En este ambiente, la madera maciza supera frecuentemente el contenido de humedad del 20 % y, por tanto, es susceptible de ser atacada por hongos xilófagos.

Tipo de riesgo 4: situación en la que un elemento de madera está en contacto con el suelo o con agua dulce y expuesto a una humidificación permanente. En este ambiente, la humedad de la madera supera el 20 % permanentemente y está sometida al ataque de los hongos xilófagos.

Tipo de riesgo 5: situación en la que el elemento está en contacto permanente con el agua salada. En este ambiente la humedad de la madera maciza supera el 20 % de manera permanente. El ataque por invertebrados marinos es el principal problema.

8.3. *Productos protectores*

Son aquellos productos con propiedades insecticidas, fungicidas o ignífugas que, aplicados a la madera, la protegen contra la acción de los agentes destructores.

Cada utilización de la madera requiere un tipo de protección específica, que se consigue por medio de la combinación de un protector adecuado y un sistema de aplicación.

Todos los protectores deben tener unas características mínimas desde el punto de vista de la eficacia:

- Ser fungicidas y / o insecticidas y/o ignífugos
- Mantener la eficacia a lo largo del tiempo
- No alterar las propiedades de la madera

Protectores hidrosolubles: son mezclas de sales minerales que utilizan el agua como vehículo para introducirse en la madera. Se aplican mediante un procedimiento que asegura la protección en profundidad (autoclave, difusión, desplazamiento de savia) y siempre a la madera, antes de ser puesta en obra.

Dado que estos protectores se aplican a la madera húmeda o humedecen durante el tratamiento, exigen un secado posterior durante el cual se pueden producir grietas o deformaciones según el tipo de madera tratada y las condiciones de secado.

La madera tratada con protectores hidrosolubles queda generalmente coloreada.

Protectores hidrodispersables: son mezclas de principios activos no hidrosolubles los que se añade un emulgente para producir una buena dispersión en agua; comercialmente se conocen como emulsiones.

Son un tipo intermedio entre los protectores hidrosolubles y los protectores con disolvente orgánico. Tienen en común con los primeros el vehículo para ser introducidos en la madera y con los segundos los principios activos.

Se aplican normalmente por procedimientos superficiales (pincelado, pulverización e inmersión breve), tienen menos poder de penetración que los orgánicos, pero son menos contaminantes.

Protectores con disolvente orgánico: los principios activos de estos productos son compuestos orgánicos de síntesis que utilizan un disolvente orgánico ligero como vehículo.

Estos productos se pueden aplicar para tratamientos superficiales o en profundidad (tabla 8.1) y se pueden utilizar tanto sobre madera puesta en obra como antes de ser colocada, por lo cuerpo a sirven igual para tratamientos curativos como preventivos; tienen un alto poder de penetración en la madera y no modifican ni la coloración ni las propiedades. Siempre se han de aplicar en madera seca, es decir, con una humedad inferior al 20 %.

Protectores orgánicos naturales: son productos que se obtienen de la destilación del alquitrán de hulla (creosota) o de la pirólisis del petróleo.

Las propiedades específicas exigen como sistema de tratamiento la inmersión caliente-fría o la impregnación a presión en autoclave.

Debido al fuerte olor que desprende la madera tratada con estos productos, no son aconsejables para el tratamiento de maderas utilizadas en la construcción de viviendas o locales habitados, aunque pueden ser idóneos para las maderas destinadas a construcciones rurales, como vallas, invernaderos, puentes, cubiertos, etc.

Tabla 8.1. *Productos protectores para madera.*

Situación de la madera	**Tipo de riesgo**	**Medidas a adoptar por lo que se refiere a la protección**	**Tipo de protección**
- Madera en interior en ambiente siempre seco Funciones de revestimiento o acabado	1	Tratamiento facultativo según si el coste no supera el de una reparación o tratamiento curativo	Superficial 1 mm < p ≤ 3 mm
- Maderas con funciones estructurales y ambiente siempre seco y / o - Maderas no estructurales con riesgo accidental de humedad	1 2	Tratamiento preventivo aconsejable, especialmente en caso de reparaciones difíciles y costosas	Superficial 1 mm < p ≤ 3 mm Media 3 mm < p ≤ 75 % S
- Maderas sometidas a periodos alternativos de humedad y sequedad, sin contacto con el suelo	3	Tratamiento preventivo obligatorio	Media 3 mm < p ≤ 75 % S Profunda p > 75 % S

- Maderas en contacto con el suelo o con una fuente de humedad permanente que le comunica un contenido de humedad > 20 %	4	Tratamiento preventivo obligatorio	
S = superficie de la sección de la pieza de madera a tratar P = penetración del protector			

Tabla según: Navarrete, Ángeles. 1995.

8.4. *Tratamientos protectores*

Se entiende como la aplicación de un producto protector en la madera, por un procedimiento adecuado que impida que sea atacada por agentes que la degradan o que elimine los agentes que ya la han atacado.

Los tratamientos protectores se pueden aplicar a la madera antes o después de la puesta en servicio y pueden ser de dos tipos, preventivos o curativos.

8.4.1. Tratamientos preventivos

Son los que se aplican en una madera húmeda o seca y antes el después de ser puesta en servicio, por evitar que sea atacada por los agentes destructores bióticos o abióticos.

En este tipo de tratamientos, el sistema de aplicación variará según se trate de madera puesta o no en la obra (tabla 8.2):

Tabla 8.2. *Tratamientos preventivos para madera en función de la puesta en obra.*

- Madera antes de ser puesta en obra		
	Superficial	Inmersión breve Pulverización o riego Pincelado
	En profundidad	Inmersión prolongada Difusión o desplazamiento de savia Doble vacío Impregnación a presión (autoclave)
- Madera puesta en obra		
	Superficial	Pulverización o riego Pincelado
	En profundidad	Inyección a presión

Tabla según: Navarrete, Ángeles. 1995.

El grado de protección que se debe conferir a una madera para alargar al máximo su vida útil depende de la durabilidad natural, del tipo de riesgo que corresponde a las condiciones de uso y la climatología del lugar donde se haya de utilizar.

Este grado de protección está determinado por la penetración que el producto protector alcanza en el interior de la madera y por la retención o cantidad de principios activos insecticidas y / o fungicidas que quedan fijados a la madera tratada una vez ha finalizado el tratamiento.

A partir de aquí se deduce que los tratamientos en profundidad: ya sean aplicados por autoclave o por inyección a presión, son los que comunican más protección a la madera. Sin embargo, para los tipos de riesgo 1 y 2, en general, es suficiente la protección conseguida con los tratamientos superficiales.

Los tratamientos en autoclave consisten en síntesis, a eliminar el aire contenido en las células de la madera mediante la aplicación de un vacío inicial que facilita la penetración del producto protector y la aplicación, a continuación, una presión más o menos elevada que fuerce la penetración del protector. A continuación, se aplica un vacío final para retirar el excedente de producto del interior de las células de la madera, y se deja sólo lo que impregna las paredes celulares.

8.4.2. Tratamientos curativos

Son los aplicados a una madera puesta a la obra que ha sido objeto de algún tipo de ataque por organismos xilófagos. Tienen como misión paralizar la progresión de los daños, matar al agente que está actuando y dejar la madera protegida contra posibles ataques futuros.

En caso de que la construcción objeto del tratamiento esté atacada por termitas, los tratamientos curativos de las maderas deben complementarse con un tratamiento específico de toda la construcción contra este insecto.

Los tratamientos curativos, en el campo de la construcción, sólo se aplican a madera puesta en obra.

Tratamiento:

Superficial:	Pulverización o riego
	Pincelado
En profundidad:	Inyección a presión

Para la elección del sistema de tratamiento, hay que tener en cuenta la repercusión que su destrucción, a causa de un ataque producido por organismos xilófagos, tiene para la estabilidad del edificio y los costes que representaría su reparación o sustitución (tabla 8.3).

Tabla 8.3. *Protectores, tratamientos y aplicación de productos curativos para madera.*

Tipo de protector	Tratamiento	Sistema de aplicación	Categoría de riesgo
Hidrosoluble	Preventivo	Difusión Autoclave (vacío a presión)	1, 2, 3, 4
Hidrodispersable	Preventivo	Pulverización Pincelado	1, 2
Con disolvente orgánico	Preventivo	Pulverización Pincelado Inmersión Autoclave	1, 2, 3
	Curativo	Pulverización Pincelado Inyección	1, 2, 3
Orgánico natural	Preventivo	Autoclave	1, 2, 3, 4

Tabla según: Navarrete, Ángeles. 1995.

Dada la importancia y la especificidad de los tratamientos curativos, se exponen a continuación, de forma más detallada, los tratamientos a efectuar en función del organismo xilófago presente en el edificio en que se debe intervenir.

8.4.2.1. Tratamientos contra agentes bióticos

Tratamientos contra hongos

Los tratamientos contra hongos deberán centrarse en las zonas del edificio en el que se puedan dar las condiciones necesarias para su desarrollo, es decir, aquellas zonas donde exista la posibilidad de humidificación, fundamentalmente a las piezas que están en contacto con las paredes.

En estas piezas, pie derecho, vigas riostras, viga de zunchado, cabezas de viguetas, etc., habrá que aplicar un tratamiento en profundidad con un protector con disolvente orgánico. En el resto de las piezas, basta la aplicación de un tratamiento superficial.

8.4.2.2. Tratamiento contra insectos

Tratamiento contra insectos de ciclo larvario

La distribución de los ataques de los insectos de ciclo larvario no es uniforme en toda la estructura del edificio, por lo que el tratamiento deberá ser más o menos intenso según el estado de las diferentes piezas de madera y la de los alrededores.

En las zonas donde se detecte un ataque, deberá hacerse un tratamiento en profundidad, por inyección, mediante válvulas especiales, con un protector con disolvente orgánico, mientras que en aquellas zonas donde no se detecta ningún tipo de ataque será suficiente un tratamiento superficial preventivo.

Tratamiento contra insectos sociales

Los tratamientos curativos contra las termitas subterráneas del género reticulitermes son particularmente delicados, como consecuencia de la forma de vida de estos insectos y del carácter extremadamente difuso de sus colonias. Normalmente, es imposible eliminar la totalidad de las colonias que atacan un edificio y que están situadas fuera.

Por tanto, la lucha contra las termitas se centra en impedir que continúe el ataque, localizando los focos del medio exterior y destruyendo las colonias que hay en el interior.

Para obtener los mejores resultados, la lucha contra las termitas se hará por medio de la combinación de cuatro tratamientos diferentes según la distribución e intensidad del ataque, así como también de las características del edificio.

Estos cuatro tratamientos son:

a) *Tratamiento de los cimientos* (barrera química de protección), este tratamiento consiste en la realización de una barrera perimetral, mediante la utilización de un protector insecticida, termiticida y persistente, que impida el acceso de las termitas procedentes de colonias exteriores en el interior del edificio.

Para la realización de esta barrera hay que tener en cuenta el poder contaminante de los productos utilizados, sobre todo para las aguas subterráneas, por lo que nunca tendrá que usar un producto con disolvente orgánico.

b) *Tratamiento de la base de las paredes*. Se hará mediante la inyección a presión, mediante válvulas anti retorno, de un producto de las propiedades descritas en el apartado anterior y compatible con la composición de las paredes.

c) *Tratamiento de otras partes de las paredes*. En caso de que la invasión del edificio sea muy grande, es decir, que las termitas hayan superado el primer nivel, será conveniente hacer un tratamiento de las paredes por inyección a presión, justo por debajo de cada uno de los techos, para impedir que las termitas lleguen a la estructura de madera que los constituye.

d) *Tratamiento de las maderas*. Para la elección del tipo de tratamiento contra las termitas que se aplicará a las maderas, se seguirán los mismos criterios que para los hongos de pudrición.

Si la complejidad del edificio es grande, se pueden proponer otros tratamientos complementarios.

8.4.3. Sellados

8.4.3.1. Tratamiento contra la fotodegradación

Este tipo de degradación es debido a la acción de los rayos ultravioletas, por lo tanto, tiene lugar fundamentalmente a las carpinterías exteriores ya toda la madera expuesta a la intemperie.

Como se trata de un fenómeno superficial, la protección a aplicar también es superficial y los productos que se utilicen deben estar dotados de pigmentos o filtros que protejan la madera contra la acción de las radiaciones solares.

8.4.3.2. Tratamiento estabilizador de la madera

Una de las características que distingue a la madera de otros materiales es su capacidad de absorber agua. Aunque para la madera de construcción es imposible impedir la absorción de agua, y por tanto que se mueva y se produzcan grietas, sí se puede aumentar considerablemente la inercia de la madera mediante la aplicación de un producto adecuado. Esto reducirá notablemente la amplitud de los intervalos del grado de humedad de equilibrio de la madera, para unas condiciones de puesta en servicio determinadas.

Los productos utilizados son ricos en resinas disueltas en un disolvente orgánico de gran poder de penetración y se aplicarán en profundidad, por un procedimiento de doble vacío o poca presión, pero siempre en autoclave, por ello se trata de un tratamiento preventivo.

8.4.3.3. Tratamiento contra el fuego

Como se comprende fácilmente, contra este agente destructor no hay tratamientos curativos, sólo hay preventivos, y pueden ser de dos tipos:

a) *Ignifugación profunda*: consiste en la impregnación de la madera en profundidad con un producto que reduce la inflamabilidad.

b) *Ignifugación superficial*: consiste en recubrir la madera con productos que presentan una buena reacción al fuego, como revestimientos de yeso, lana de vidrio, fibra cerámica o bien, si se quiere mantener la madera vista, pinturas o barnices ignífugos.

8.4.4. Tratamiento de la madera de reposición

La madera nueva, aunque esté bien seca, es un foco importante de atracción para los organismos xilófagos y como que tiene un contenido mayor de sustancias nutritivas es destruida con mayor facilidad y rapidez que la vieja.

Por este motivo, es imprescindible tratar adecuadamente toda la madera de reposición de un edificio en rehabilitación. La elección del tratamiento se hará de acuerdo con la especie de la madera y el tipo de riesgo que le corresponda según las condiciones de puesta en servicio.

El tratamiento químico de protección debe hacerse de acuerdo con un pliego de Condiciones Técnicas del Proyecto de Ejecución, basado en el estudio patológico, en la durabilidad y la impregnabilidad de las especies de madera que constituyen: los elementos estructurales y decorativos o de cierre, y finalmente, en las características constructivas y arquitectónicas del edificio.

El Pliego de Condiciones debe definir: el tipo o los tipos de protectores a emplear, el método de aplicación y la dosis, tanto para la madera puesta en obra, para la de reposición, así como para la edificio, en caso de ataques de termitas.

Por este motivo, en el Pliego de Condiciones se establecerá claramente el organismo a combatir y la manera de actuar para cada situación de la madera.

1. Edificios atacados por hongos
   - Tratamiento de maderas estructurales no decorativas
   - Tratamiento de fustes decorativos o estructurales decorados
   - Tratamiento de la madera de reposición

2. Edificios atacados por carcoma
   - Tratamiento de maderas estructurales no decorativas
   - Tratamiento de maderas decorativas o estructurales decoradas
   - Tratamiento de la madera ‘de reposición

3. Edificios atacados por termitas subterráneas
   - Tratamiento de los cimientos
   - Tratamiento de la base de las paredes
   - Tratamiento de otras partes de las paredes
   - Tratamiento de maderas estructurales no decorativas
   - Tratamiento de maderas estructurales decoradas o decorativas
   - Tratamiento de la madera de reposición

4. Edificios atacados por dos o más agentes destructores
   El tratamiento será la combinación de los tratamientos para cada uno de los agentes destructores presentes. Se da más importancia al tratamiento destinado a combatir el agente destructor más, peligroso y difícil de erradicar, como las termitas.

9. Pruebas de carga: vigas, forjados y elementos en flexión

9.1. *Introducción*

Definición

Se denomina prueba de carga al ensayo realizado sobre una estructura terminada mediante la aplicación de unas acciones (cargas), determinando su respuesta a través de la medida de ciertas magnitudes como son deformaciones, tensiones o desplazamientos.

Objetivos

Los objetivos más comunes a la hora de realizar una prueba de carga son los siguientes:

a) Verificar el comportamiento en servicio de la estructura
b) Comprobar la seguridad de estructuras no conocidas
c) Evaluar la reserva de carga de estructuras defectuosas o dañadas

El primero de estos objetivos está relacionado con la existencia de una serie de especificaciones o normativas, que exigen la comprobación de la aptitud en servicio antes de su puesta en funcionamiento. Los dos objetivos restantes vienen condicionados por la necesidad de evaluar la capacidad resistente o capacidad portante de una estructura sin contar con planos o memoria de la misma.

Campo de aplicación

El primer campo de aplicación de las pruebas de carga es el control de calidad de la obra, constituyendo la última fase de un conjunto de actividades que incluyen el control del proyecto, control de materiales, control de ejecución y por último la prueba de carga.

De otro lado, la necesidad de establecer la resistencia residual de una estructura para determinar su coeficiente de seguridad por alguna de las causas siguientes:

a) Signos de insuficiencia de la estructura desde el punto de vista resistente, tales como fisuración o deformaciones excesivas
b) Daño local o generalizado debido a una sobrecarga excesiva, choque, explosión, incendio, terremoto, o por la acción del medio ambiente a lo largo del tiempo
c) Cambio de uso en cuanto a la capacidad de la estructura para resistir las sobrecargas futuras.

Limitaciones

Las principales limitaciones que nos encontramos a la hora de realizar una prueba de carga, tanto en el caso de las pruebas de servicio como en aquellas que se pretende establecer la capacidad portante residual de estructuras ya existentes son las siguientes:

a) Imposibilidad de efectuar un control total o control al 100 %. Y es por tanto que el control de calidad efectuado mediante pruebas de carga en forjados de edificación sea de tipo estadístico.
b) La falta de información que hace necesario un proceso de reconstrucción de la misma en base a la inspección de la estructura.
c) La inconveniencia de utilizar este sistema de evaluación en el estudio de la capacidad resistente de estructuras que pueden presentar una rotura de tipo frágil, tales como pilares o elementos sometidos a esfuerzo cortante o rasante

9.2. *Proyecto de prueba de carga*

Antes de efectuar el ensayo de prueba de carga se redactara un proyecto previo en el que debe quedar definido:

a) Inspecciones que deben efectuarse sobre la estructura (ensayos de información)
b) Finalidad y alcance de la prueba
c) Definición precisa de la zona de ensayo
d) Carga de proyecto, carga de ensayo límite y criterios que deben seguirse para fijar la máxima carga a alcanzar durante el ensayo
e) Magnitudes que han de medirse junto con el número y la situación de los puntos de medida
f) Instrumentación, especificando los tipos de aparatos y la resolución mínima exigible
g) Forma de aplicación de la carga y medidas de seguridad a adoptar

9.3. *Pruebas hasta servicio*

Los ensayos de pruebas de carga de servicio se realizan generalmente como comprobación adicional dentro del programa de control de calidad de los materiales y de ejecución de la obra sin que exista problema alguno que los motive, tienen por objeto comprobar el comportamiento de un elemento estructural, generalmente una losa o forjado, bajo solicitaciones próximas a las de servicio, previstas en proyecto. Para realizar este tipo de pruebas es necesario preparar un plan de ensayos que recoja los siguientes aspectos:

9.3.1. Zona a ensayar

En forjados de edificación suelen cargarse dos vanos continuos a fin de materializar las solicitaciones de flexión más desfavorables en apoyo y vano. No es recomendable cargar menos de cinco viguetas, especialmente si tenemos en cuenta la función de distribución de cargas de la capa de compresión y el mallazo de reparto. Es frecuente ensayar los vanos de máxima luz o la retícula extrema y su adyacente.

9.3.2. Carga de ensayo

La carga de ensayo corresponde a la fracción no dispuesta de la carga característica de servicio. Incluye, por tanto la sobrecarga de uso y, generalmente la tabiquería y el solado.

9.3.3. Materialización de la carga

Lo más usual es colocar cargas uniformemente repartidas sobre los forjados, siendo los elementos más frecuentemente dispuestos depósitos de agua, sacos de cemento, arena y acopios de material diverso.

De todos los sistemas citados, el de las balsas de agua es el más eficaz y económico para cargas de ensayo inferiores a 500 Kp/m2. La arena, áridos y materiales a granel se emplean para sobrecargas importantes.

En caso de sobrecargas elevadas o zonas difícilmente accesibles se puede recurrir a vehículos cargados, elementos colgados de la estructura, tirantes anclados al terreno y puntales en reacción contra forjados mediante gatos hidráulicos. Todos estos sistemas requieren un cálculo de una mayor complejidad y se emplean en casos especiales como garajes o cubiertas.

9.3.4. Programa de carga

Por criterios técnicos y de seguridad, se aplica un cierto número escalones de carga (cuatro normalmente) hasta la estabilización de las lecturas. Las solicitaciones máximas deben mantenerse durante un plazo que garantice una estabilización razonable del proceso de fisuración y deformación (normalmente entre 8h y 24h). La recuperación se programa en orden inversa al proceso de carga, permitiendo un plazo de recuperación análogo al de la puesta en carga, para poder establecer con precisión la flecha remanente.

9.3.5. Instrumentación

La instrumentación prevista en el plan de la prueba de carga suele destinarse a la medida de deformaciones verticales, anchura de fisuras (si es que existen) y las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa.

9.4. *Pruebas hasta solicitaciones superiores a las de servicio*

Esta tipología se emplea en aquellos casos en los que se pretende evaluar la seguridad de la estructura, o capacidad portante del forjado, por lo que es necesario superar el nivel de solicitación de servicio y alcanzar, prácticamente, el de cálculo.

Normalmente viene derivada de la sospecha de que existe una capacidad de respuesta insuficiente frente a las acciones previstas, bien sea por cambios de uso o por deterioro de la estructura, desarrollados a lo largo de su vida.

Se entiende por capacidad portante residual a la máxima carga total que una determinada estructura es capaz de soportar con un nivel de seguridad adecuado en el estado de conservación en que se encuentra.

El criterio para establecer la sobrecarga de uso máxima admisible dependerá en cada caso de la normativa empleada para garantizar un nivel de seguridad respecto del estado límite último y de las deformaciones producidas.

Deberá tenerse en cuenta los siguientes aspectos de orden práctico:

a) La estructura no debe ensayarse hasta que el hormigón no haya alcanzado la resistencia de proyecto o tenga una edad superior a los 56 días.
b) Los elementos estructurales a ensayar serán los que ofrezcan dudas sobre su seguridad
c) La carga de ensayo limite depende de la normativa empleada ACI-318, GEHO, EHE, y no debe ser superada durante el ensayo en ningún caso
d) Por este método se obtienen cargas de ensayo bastante elevadas, por lo que es frecuente recurrir a sistemas mixtos de carga
e) Por último, debe prestarse especial atención a las medidas de seguridad a adoptar.

9.5. *Pruebas especiales para la evaluación de defectos*

El objetivo de las pruebas de carga es, en ocasiones, la evaluación de defectos diagnosticados preliminarmente en la investigación de daños de patología. En estos casos específicos las pruebas complementarán otras investigaciones, siendo un criterio recomendable subordinar su

Realización a los resultados de un cálculo analítico previo.

La investigación preliminar deberá incluir los siguientes datos:

a) Geometría de los elementos estructurales
b) Definición geométrica de los daños
c) Definición geométrica de las armaduras, en centro de vano y apoyos de elementos sometidos a flexión

d) Identificación del tipo de armaduras: barras corrugadas, alambres de pretensado
e) Estimación del nivel de calidad del hormigón mediante ensayos

En función del objeto de estas pruebas, aparecen caracteres diferenciales:

a) La falta de documentación en la rehabilitación de edificios. Se presenta la necesidad de evaluar la resistencia de los forjados con base en su comportamiento en pruebas de carga
b) En ocasiones es necesario evaluar la trascendencia estructural de defectos de ejecución de forjados. Esta situación se presenta cuando se producen algunos defectos de compacidad del hormigón (segregaciones, nervios mal hormigonados, etc.) o por daños atribuidos a agentes externos (incendio, heladas, corrosión de armaduras, etc.).

10. Bibliografía

Abasolo, Andrés. 2008. «Recuperación de estructuras leñosas» en Gibert, Luis Miguel (Ed). *Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales,* tomo 3 (297-328). Munilla-Lería. Madrid.

Argüelles, Ramón, Francisco Arriaga, Miguel Esteban, Guillermo Íñiguez y Ramón Argüelles Jr. 2015. *Estructuras de madera. Uniones (II)*. Madrid. AITIM.

Arriaga, Francisco. 1995. «Factors de degradació per comportament estructural» en AA.VV. (Ed) *Manual de diagnosi, patologia i intervenció en estructures de fusta* (55-65). Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. Barcelona.

Arriaga, Francisco. 2002. *Intervención en estructuras de madera*. Madrid. AITIM.

Casanovas, Xavier. 1995. «Sistemes d'intervenció enfront de problemas de comportament estrutural» en AA.VV. (Ed) *Manual de diagnosi, patologia i intervenció en estructures de fusta* (102-119). Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. Barcelona.

García Esparza, Juan Antonio. 2004. *Documentación de la Rehabilitación de la Iglesia Parroquial de la Pobla de Benifassà.* Inédito. Empresa Cyrespa Arquitectónico.

García Esparza, Juan Antonio. 2006. *Documentación del proyecto de Rehabilitación de la Torre medieval de Càlig.* Inédito. Empresa Artola Construcciones, S.L.

García Esparza, Juan Antonio. 2007. *Documentación de la Rehabilitación de la Antigua Posada de Torrebaja*, Ademúz. Inédito. Empresa Guías de Gúdar.

Gorse, Christopher y David Highfield. 2009. *Refurbishment and Upgrading of Buildings*. London & New York. Spon Press - Taylor and Francis.

Hayward, Charles H. 1996. *Uniones y ensambles de la madera*. Barcelona. CEAC, DL.

Hewelt, Cecil Alec. 2001. *English historic carpentry*. Phillimore and Co. Ltd, UK. Reimpresión del original de 1980.

Navarrete, Ángeles. 1995. «Factors de degradació abiòtics i biòtics» en AA.VV. (Ed) *Manual de diagnosi, patologia i intervenció en estructures de fusta* (45-54). Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. Barcelona.

Navarrete, Ángeles. 1995. «Sistemes preventius i curatius enfront de problemas biòtics i abiòtics» en AA.VV. (Ed) *Manual de diagnosi, patologia i intervenció en estructures de fusta* (120-127). Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. Barcelona.

Nuere, Enrique. 1990. *La carpintería de armar española*. Madrid. Ministerio de Cultura. Dirección General de Bellas Artes y Archivos.

Palaia, Liliana. 1995. «Metodología de diagnosi d'elements estruturals de fusta» en AA.VV. (Ed) *Manual de diagnosi, patologia i intervenció en estructures de fusta* (66-75). Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. Barcelona.

Peraza, Fernando. 2004. *Tableros de madera de uso estructural*. Madrid. AITIM.

Rodes, Antonio. 2004. «Pruebas de carga: vigas, forjados y elementos a flexión» en (Ed) López, Luis. *Restauración básica* (76-83). C.O.A.C.V. Valencia.

Tampone, Gennaro. 1995. «Criteris d'intervenció» en AA.VV. (Ed) *Manual de diagnosi, patologia i intervenció en estructures de fusta* (89-101). Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. Barcelona.

11. Normativa

11.1. *Código Técnico de la Edificación*

DB-SE-AE Seguridad estructural: Acciones en la edificación
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SE-AE.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 28 de marzo de 2006
Modificado por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007



Corrección de errores.
B.O.E.: 25 de enero de 2008

DB-SE-M Seguridad estructural: Madera
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SE-M.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 28 de marzo de 2006
Corrección de errores.
B.O.E.: 25 de enero de 2008

DB-HR Protección frente al ruido
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HR.
Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007
Corrección de errores.
B.O.E.: 20 de diciembre de 2007

DB-SI Seguridad en caso de incendio
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SI.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 28 de marzo de 2006
Modificado por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007
Corrección de errores.
B.O.E.: 25 de enero de 2008

DB-HE Ahorro de energía
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HE.
Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, del Ministerio de Fomento.
B.O.E.: 12 de septiembre de 2013
Corrección de errores.
B.O.E.: 8 de noviembre de 2013

11.2. *Normas Tecnológicas*

UNE-EN 1995-1-1: 2006+A1: 2010. Eurocódigo 5 de la parte general y de incendio (EN 1995-1-1 y EN 1995-1-2).

UNE-EN 1993-1-8: 2013. Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-8: Uniones.

Normas europeas que han sido adoptadas por AENOR como normas UNE-EN:

UNE-EN 336: 1995. Madera estructural. Coníferas y chopo. Dimensiones y tolerancias.

UNE-EN 338: 1995. Madera estructural. Clases resistentes.

UNE-EN 383: 2007. Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Determinación de la resistencia al aplastamiento y del módulo de aplastamiento para los elementos de fijación tipo clavija.

UNE-EN 384: 1996. Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad.

UNE-EN 385: 1996. Empalmes por unión dentada en madera estructural. Especificaciones y requisitos mínimos de fabricación.

UNE-EN 408: 1996. Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas.

UNE-EN 409: 2009. Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Determinación del momento plástico de los elementos de fijación tipo clavija.

UNE-EN 518: 1996. Madera estructural. Clasificación. Requisitos de las normas de clasificación visual residente.

UNE-EN 519: 1998. Madera estructural. Clasificación. Requisitos para la madera clasificada mecánicamente y para las máquinas de c1asificación.

UNE-EN 595: 1996. Estructuras de madera. Métodos de ensayo para la determinación de la resistencia y rigidez de las cerchas.

UNE-EN 789: 1996. Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Determinación de las propiedades mecánicas de los tableros derivados de la madera.

UNE-EN 912: 2011. Conectores para madera. Especificaciones de los conectores para madera.

UNE-EN 1194: 1999. Estructuras de madera. Madera laminada encolada. Clases resistentes y determinación de los valores característicos.

UNE-EN 1383: 2000. Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Resistencia a la incrustación en la madera de la cabeza de los elementos de fijación.

UNE-EN 1382: 2000. Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Resistencia al arranque de los elementos de fijación en la madera.

UNE-EN 1912:1999. Madera estructural. Clases resistentes. Asignación de especies y calidades visuales.

UNE-EN 10025-2: 2006. Productos laminados en caliente de aceros en estructuras. Parte 2: Condiciones técnicas de suministro de los aceros estructurales no aleados.

UNE-EN 10025-3: 2006. Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 3: Condiciones técnicas de suministro de los aceros estructurales soldables de grano fino en la condición de normalizado/laminado de normalización.

UNE-EN 10025-4: 2007. Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 4: Condiciones técnicas de suministro de los aceros estructurales soldables de grano fino laminados termomecánicamente.

UNE-EN 10083-1. Aceros para temple y revenido. Palie 1: Condiciones técnicas generales de suministro.

UNE-EN 10083-2. Aceros para temple y revenido. Parte 2: Condiciones técnicas de suministro de aceros de calidad no aleados.

UNE-EN 10088-2: 2008. Aceros inoxidables. Parte 2: Condiciones técnicas de suministro para chapas y bandas de acero resistentes a la corrosión para usos generales.

UNE-EN 10139:1998. Flejes de acero bajo en carbono, no recubiertos para conformado en frío. Condiciones técnicas de suministro.

UNE-EN 10143: 2007. Chapas y bandas de acero con revestimiento metálico en continuo por inmersión en caliente. Tolerancias dimensionales y de forma.

UNE-EN 10268: 2007+A1:2013. Productos planos de acero laminados en frío de alto límite elástico para conformado en frío. Condiciones técnicas de suministro.

UNE-EN 14545: 2009. Estructuras de madera. Conectores. Requisitos.

UNE-EN 14592: 2008. Estructuras de madera. Elementos de fijación de tipo clavija. Requisitos.

UNE-EN 26891: 1992. Estructuras de madera. Uniones realizadas con elementos de fijación mecánicos. Principios generales para la determinación de las características de resistencia y deslizamiento.

UNE-EN-ISO 898-1: 2000. Características mecánicas de los elementos de fijación fabricados de acero al carbono y de acero aleados. Parte 1: Pernos, tomillos y bulones.

12. Software Técnico-Comercial

Arquímedes y generador de precios CYPE / AutoCAD. Autodesk / REVIT. Autodesk

Base de datos de construcción de la Comunidad Valenciana. Instituto Valenciano de la Edificación.

Base de datos Precio Centro Guadalajara. Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de Guadalajara.

13. Congresos internacionales sobre la materia

Asociaciones que patrocinan los congresos internacionales del ISI Conference Proceedings Citation Index.

Int Soc Photogrammetry & Remote Sensing
Amer Soc Civil Engineers, Construct Inst, Construct Res Council
Gentili srl Restrutturazione Restauro Monumentale 1863
Kyo Cleaning
European Cooperat Sci & Technol Act TU 1208 Civil Engn Applicat Ground Penetrating Radar
Univ Catholique Louvain
Geoscanners
IDS
GSSI
Radar Syst
Geotech
Roadscanners
3D Radar
Allied Associates
Geomatrix Earth Sci Ltd
Utsi Elect
Transient Technologies
Mala
Sensors & Softwares
Radarteam Sweden
Rohde & Schwarz
European GPR Assoc
IEEE Geoscience & Remote Sensing Soc
Global IT Res Inst
IEEE Commun Soc
Natl Informat Soc Agcy
Elect Telecommunicat Res Inst

Open Stand & Internet Assoc
Rubner Holzbau
Rothoblaas
Bovair
Trentino Network
CNR IVALSA, Trees & Timber Inst
European Corp Sci & Technol
Forum UNESCO Univ & Heritage
United Nat Educ, Sci & Cultural Org
Commissione Nazl Italiana UNESCO
Fulbright
Minist Beni Attivita & Culturali
Shanghai Res Inst Building Sci
Natl Key Technol R & D Program China
Natl 211 Plan China
Natl Nat Sci Fdn China
Tongji Univ, Coll Civil Engn, Kwang Hua Fund
European Soc Study Sci & Technol
CINTEC Int
Gifford
English Heritage
Int Council Monuments & Sites
ICOMOS UK
IStructE
WIT Transact Ecol & Environm
Wessex Inst Technol
GroundProbe
Sensors & Software Inc
Mala Geosci
Geophys Survey Syst
Escola Super Gallaecia
Res Ctr ESG
Int Sci Comm Vernacular Architecture
Fundacao Ciencia & Tecnologia
European Union, Educ & Culture DG
RILEM
AkzoNobel
BASF
Dresselhaus
Dynea
ENGEL
HECO Schrauben
HESS
Kielsteg
Oest
Purbond
Reisser Schraubentechnik

Schworer Haus KG
SFS Intec
SPAX
STEICO
Stephan
BS Holz
BSP Holz
Weinig
WEVO
Wurth
Lubbert Warenhandel
Assy Das Original
Control Engn & Informat Sci Res Assoc
Int Frontiers Sci & Technol Res Assoc
Trans Tech Publicat.

14. Material docente complementario

Esta unidad didáctica se complementa con material gráfico de Casos Particulares de Estudio en obras de rehabilitación:

- Iglesia Parroquial de la Pobla de Benifassà, Castellón.
- Torre medieval de Càlig, Castellón.
- Antigua Posada de Torrebaja, Valencia.

Unidad didáctica 5
http://bit.ly/2MOPjgf



CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EDIFICIOS

Unidad didáctica 6

Sintomatología, diagnosis e intervención en estructuras de hormigón y metálicas

ÍNDICE

I. Unidad didáctica 6A

IV. Normativa

IV.I. Código Técnico de la Edificación
IV.II. Normas tecnológicas

V. Software Técnico-Comercial

VI. Congresos internacionales sobre la materia

VII. Material docente complementario

Esta unidad didáctica se complementa con material gráfico de Casos Particulares de Estudio en obras de rehabilitación:

- Mercado Central de Valencia.
- Torres de Quart de Valencia.
- Estructura de hormigón armado en un edificio de viviendas, Valencia.

I. Unidad didáctica 6A

Sintomatología, diagnosis e intervención en estructuras de hormigón

0. Síntomas en estructuras de hormigón

0.1. *Daños por corrosión de armaduras*

- Fisuras y grietas longitudinales, de ancho variable, coincidentes con la situación y trayectoria de las armaduras.
- Manchas de óxido en la superficie del hormigón, a veces coincidentes con la situación de las barras.
- Desprendimiento del recubrimiento de hormigón en algunas zonas.
- Presencia de armaduras corroídas.

a) En primer lugar, recordar que la armadura al oxidarse, aumenta de volumen de forma considerable, teóricamente hasta más de seis veces, dependiendo de la disponibilidad de oxígeno. Esto provoca fuerzas expansivas que pueden causar fisuración y desprendimientos en el hormigón. Este efecto de la corrosión de las armaduras puede llevar a roturas frágiles e imprevistas si las fisuras longitudinales a lo largo de las armaduras se producen en la zona de anclaje de las mismas.

b) Como es sabido, la corrosión se produce cuando se destruye la capa pasivante del acero por las causas siguientes:

- La presencia de una cantidad suficiente de iones cloruro Cl'.
- La carbonatación del hormigón por la difusión del CO2 (anhídrido carbónico) atmosférico.

En el primer caso la capa pasiva se destruye localmente en pequeñas cantidades se da la llamada corrosión por picaduras, en pequeñas superficies, produciéndose una reducción puntual importante de la sección de las armaduras.

En el segundo caso la corrosión es generalizada, afectando a extensas superficies.

c) A la vista de lo anterior, un factor fundamental es la permeabilidad del hormigón puesto que de ella depende la difusión del anhídrido carbónico y de los

iones cloruro, y como la permeabilidad está relacionada con la calidad del hormigón, la presencia de abundantes coqueras, fisuraciones, reducido espesor del recubrimiento. etc., es un síntoma inequívoco de mala calidad del hormigón. Esta calidad se define en términos de espesor y permeabilidad del recubrimiento de hormigón.

d) Las condiciones ambientales proporcionan la humedad y el oxigeno necesario s para que la corrosión se produzca, ya que sin su presencia el proceso está impedido.

En el hormigón seco el proceso electrolítico es imposible por la ausencia de electrolito -ya se sabe que la corrosión es un proceso electroquímico donde se forma una pila galvánica-, y en el hormigón saturado de agua también, por la falta de oxígeno, aunque el hormigón esté fuertemente contaminado por cloruros.

Si el hormigón está muy húmedo, no siempre se produce la fisuración cuando las armaduras se corroen , porque los óxidos , al generarse a una velocidad constante, pueden emigrar a través de la red de poros y aparecer en la superficie en forma de manchas, que incluso a veces no coinciden con la situación de las armaduras.

La situación más agresiva responsable del mayor número de casos de corrosión, es la presencia de cloruros. Los casos están fundamentalmente localizados en las zonas costeras, - puesto que en los ambientes marinos los cloruros están suspendidos en las gotitas de humedad del aire-. Por esta razón, los cloruros pueden penetrar mucho más rápidamente en el hormigón por un mecanismo de transporte por capilaridad, muy propio de ambientes de niebla salina.

La agresividad del ambiente está clasificada, generalmente, en los códigos nacionales en función del contenido de humedad y de agentes contaminantes.

0.2. *Daños por ataque químico del hormigón*

Se basa en una reacción química de las sustancias agresivas -que se trasladan principalmente desde el ambiente- con la correspondiente sustancia reactiva en el hormigón. Estas sustancias agresivas, incluso si están presentes en el propio hormigón, han de ser transportadas hasta el producto reactivo para que puedan combinarse; es decir, si no hay transporte no hay reacción.

La presencia de agua en estado líquido o gaseoso es condición previa para que las reacciones químicas tengan lugar a una velocidad con repercusión práctica sobre la durabilidad.

Las reacciones químicas más importantes son:

Ataque por ácidos: La acción de los ácidos sobre el hormigón endurecido destruye la estructura del cemento porque reaccionan con todos sus componentes. En este

tipo de ataque la permeabilidad del hormigón aún sano es de poca importancia porque se destruye el sistema de poros. En cambio con el ataque de sulfatos y álcalis, la permeabilidad del hormigón incluso sano sí que es de máxima importancia.

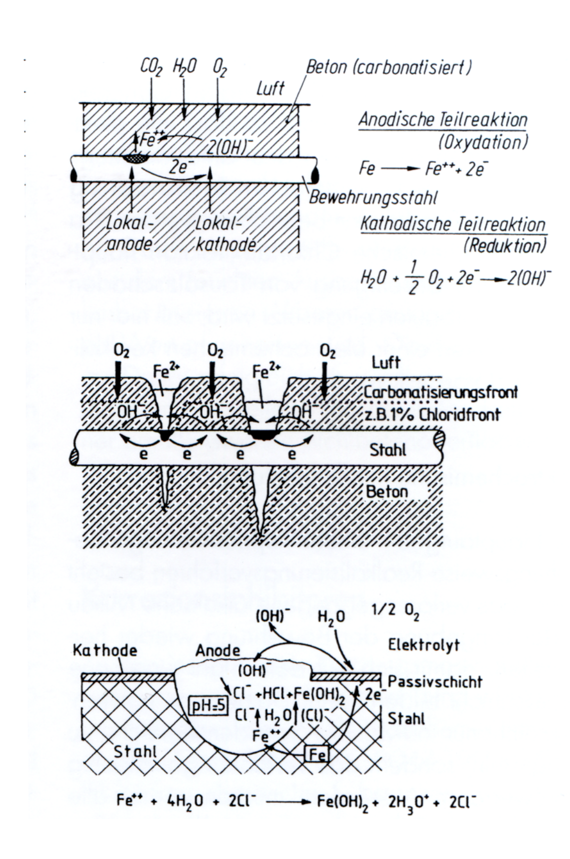


Figura 0.1. Daños al hormigón y barras corrugadas por ataque químico.

Ataque por sulfatos: Los sulfatos sólo atacan a ciertos componentes del cemento.

El ataque sobre el hormigón se caracteriza por la reacción química del ión sulfato, como sustancia agresiva, con el componente aluminato tricálcico del cemento portland endurecido o de otros cementos que contengan clinker de portland.

La reacción de las sustancias indicadas, en presencia de agua suficiente, causa la expansión del hormigón, dando inicialmente lugar a un estado de fisuración irregular que facilita el acceso de ataques posteriores, hasta la desintegración del hormigón.

Ataque por álcalis: La reacción álcali - árido se produce por la combinación de los álcalis presentes en el hormigón con componentes (sílice) de los áridos empleados en la elaboración del mismo. En el caso de la existencia de agua, esta reacción puede provocar una expansión destructiva que se inicia con pequeñas fisuras irregulares en mapa seguidas, eventualmente, por la desintegración completa.

Pueden aparecer también fenómenos asociados como son la decoloración alrededor de las fisuras o la pérdida de material.

Existen semejanzas entre los síntomas del ataque de los álcalis y de los sulfatos; la diferencia que en los primeros la sustancia reactiva son los áridos y en los segundos el cemento.

0.3. *Daños por otras causas*

- Grietas, fisuras y desconchados por cargas directas con distintas tipologías según sean debidas a esfuerzos de flexión, cortante, compresión, tracción, torsión, etc.
- La presencia de abundantes coqueras es un síntoma de la mala calidad del hormigón al hacerlo más permeable y facilitar la difusión de agentes agresivos.
- Fisuras verticales por retracción en vigas.

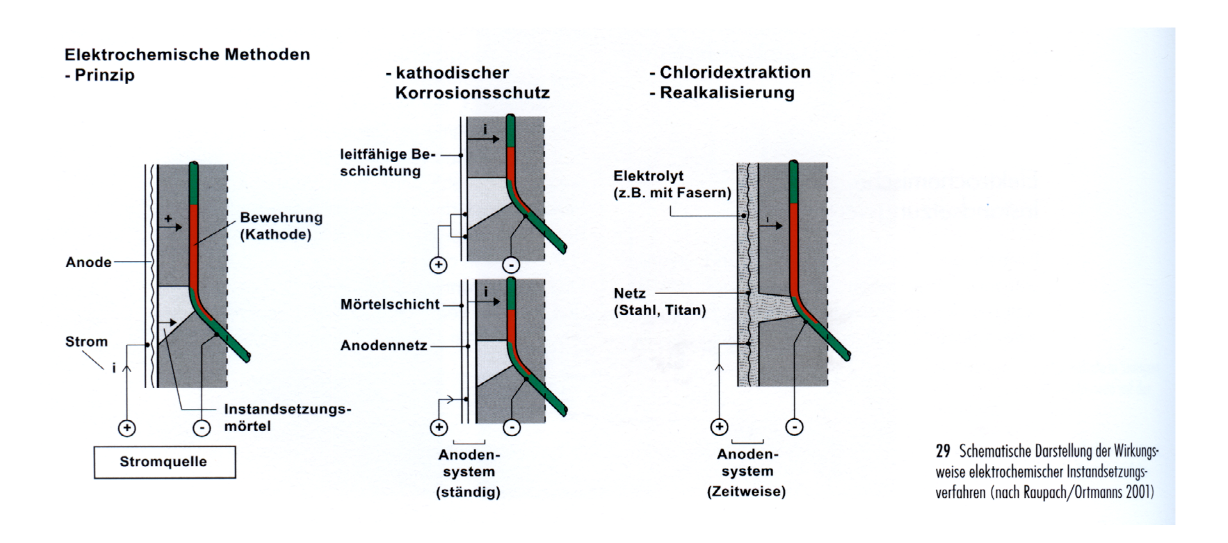


Figura 0.2. Comportamiento de las barras frente al ataque químico.

0.4. *Estudios pre-intervención del hormigón*

- Ensayos de Laboratorio. Resistencia a compresión
- Ensayo de laboratorio. Resistencia a flexotracción
- Ensayo de laboratorio. Análisis de cloruros.
- Ensayo de laboratorio. Análisis de sulfatos.
- Ensayo de laboratorio. Módulo de elasticidad.
- Ensayo de laboratorio. Porosidad.
- Ensayo de laboratorio. Densidad aparente.
- Ensayos de campo. Extracción de testigos. Correlación mediante inter-

polación con esclerómetro para la estimación de la resistencia a compresión.
- Ensayos de campo. Resistencia a compresión. Esclerómetro.
- Ensayos de campo. Cohesión superficial. Ensayo Sattec o extractómetro.
- Ensayos de campo. Espesor de recubrimiento. Covermeter, Profometer y/o Pachómetro.
- Ensayos de campo. Profundidad de carbonatación. Fenolftaleína (color rosa pH > 8,2). Timolftaleína (color azul pH > 9'3).
- Ensayos de campo. Predicción de la resistencia del hormigón y la velocidad de corrosión de las armaduras. Ensayo de resistividad.
- Ensayos de campo. Ultrasonidos. Pundit. Distribución y profundidad fisuras.
- Ensayos de campo. Análisis de cloruros. Test del Nitrato de Plata + diacromato potásico.

1. Metodología de evaluación de patologías para la reparación de estructuras de hormigón armado

- Medición del espesor de las fisuras. Es fundamental para conocer el riesgo de corrosión de armaduras. Así como la aceptabilidad o no del espesor de las fisuras. Según las instrucciones y normas existentes.
- Seguimiento de la evolución de la fisuración de la estructura. Esto es esencial para saber cuándo se ha producido la estabilización de las fisuras (sí es que se ha producido). También nos permitirá evaluar la seguridad de la estructura.
- Antes de proceder a la reparación del muro. Determinar las causas que han provocado los daños de fisuración. Para ello, la experiencia del técnico es imprescindible.

Muchas de las patologías de las estructuras armadas o pretensadas están relacionadas con la durabilidad y un número pequeño debido a defectos provocados por la capacidad de carga de la estructura, a los que podrían sumarse los accidentes o imprevistos, tal el caso de incendios. Como es conocido, un importante conjunto de factores influencian el comportamiento del hormigón, entre los cuales pueden citarse el diseño, materiales, construcción y condiciones de servicio y de exposición. Los problemas son entonces el resultado de una combinación de los factores indicados.

En la Tabla 1 se indican los efectos y las causas más comunes que pueden presentarse en las estructuras de hormigón armado, las cuales pueden producirse en cualquier etapa de la vida de la estructura.

Tabla 1.1. *Anomalías y causas de patología.*

Anomalía	Causa
Defecto	Diseño Materiales inadecuados Construcción deficiente
Daño	Sobrecarga no considerada Derrames químicos Sismos Temperatura (Fuego)
Deterioro	Congelación y Deshielo Erosión Corrosión de armaduras Reacciones deletéreas Ataque por sulfato Ataque por ácidos

Tabla adaptada por el autor

El procedimiento o metodología adoptada para la evaluación de estructuras debe seguir un orden lógico que permita conocer el comportamiento de los materiales en la estructura y el grado de afectación, con el menor esfuerzo en lo que respecta a tiempo y costos. La información a obtener debe ser cualitativa y preferentemente cuantitativa, en particular, cuando debe procederse al refuerzo o reparación de la estructura afectada.

Las técnicas de ensayo a aplicar para determinar el grado de deterioro o bien cuantificar en qué estado se encuentra una estructura o elemento estructural de la misma, dependen del tipo de patología que presente. Existe una diversidad de ensayos como los Destructivos, Semidestructivos y No Destructivos, que se utilizan habitualmente. En la Tabla 1.2 se indican algunos de ellos en función de la característica que se desea evaluar.

Tabla 1.2. *Técnicas de inspección o ensayo*

Material / estructura	Propiedad a evaluar	Técnica de inspección o ensayo
Hormigón	Resistencia	- Testigos: examen visual, rotura, etc. - Ultrasonido
Hormigón Armado	Uniformidad Fisuras y defectos visibles Delaminación Propiedades del hormigón o acero Permeabilidad / Absorción	**a) Propiedad cercana a la superficie:** - Testigos: examen visual, rotura, etc. - Resistencia a la penetración (Windsor), Pull-off, Break-off - Esclerometría (según la edad) **b) Propiedad interna del hormigón:** - Testigos: examen visual, rotura, etc. - Ultrasonido

Estructuras	Presencia de armaduras y espesor de recubrimiento	- Pachometer - Extracción de testigos - Radiografía
	Carbonatación	- Ensayo de fenolftaleína
	Presencia de cloruros y su difusión Presencia de sulfatos	- Extracción de testigos para análisis en laboratorio
	Corrosión de armaduras	- Potencial de corrosión - Resistividad - Velocidad de corrosión
	Reacción álcali-sílice	- Análisis petrográfico del hormigón y de los agregados - Ensayos de expansión en laboratorio
	Congelación y deshielo	- Análisis petrográfico - Ensayos de laboratorio

Tabla según: García Esparza, Juan Antonio. 2006.

2. Fisuración del hormigón, diagnóstico y tratamiento

Una vez llegado este punto, y realizada la inspección de la obra y los ensayos de información pertinentes, estamos en disposición de elaborar un diagnóstico sobre la obra. El diagnóstico se plasmará en un informe, donde se deberán incluir los datos de la obra, documentación fotográfica, datos de los planos, cálculos de la estructura, y todo aquello que sirva para aclarar la lesión que sufre la obra.

2.1. *Elección del procedimiento a emplear*

Aunque en la mayoría de los ellos la reparación de las fisuras va ligada a otro tipo de actuaciones (reparación de la cimentación, descarga del elemento, refuerzo de la estructura, etc.), nos circunscribiremos a la reparación de las fisuras en concreto, como fase final de una patología presente en un muro de contención.

La reparación de fisuras consiste en su cierre, restaurando así el monolitismo del hormigón y/o impedir su exposición a agentes exteriores. Las fisuras se deben cerrar cuando su anchura supere a la admitida en la normativa, o cuando se considere que deben sellarse por razones de protección de la estructura en su fase de explotación.

El procedimiento a emplear en la reparación de las fisuras, depende de la causa de éstas. El momento en que se realice su reparación, también depende de su causa, señalando algunos puntos a tener en cuenta:

- En el caso de fisuras originadas por una retracción de secado, se deberá esperar a la estabilización de las fisuras.
- Si las fisuras son originadas por sobrecargas. Que ya se han quitado, o por impactos accidentales, la reparación puede hacerse inmediatamente.

- Si se han producido asientos diferenciales de la cimentación, primero hay que reparar la cimentación mediante los métodos convenientes y después proceder a la reparación de las fisuras.

Si las fisuras son pequeñas, y están estabilizadas, se pueden cerrar por sí solas, mediante un proceso de cicatrización, o con el empleo de productos químicos, dando lugar a la ocratización.

El sistema más habitual de reparación de las fisuras consiste en la inyección de una resina sintética, o bien, de un cemento especial. En otros casos, se tiene que recurrir al grapado. Los principales procesos o sistemas de reparación de fisuras son los que se tratan a continuación:

- Cicatrización.
- Ocratización.
- Grapado.
- Inyección de resinas epoxi.
- Inyección de cemento y microhormigones.
- Taponamiento con morteros especiales.

2.1.1. Cicatrización

Consiste en el cierre por sí mismas de fisuras de ancho reducido. Suele darse en elementos de hormigón fisurados y saturados de agua, en donde no circula agua a través de las lisuras. Este proceso no se da en depósitos, canales, presas, muros de contención y conducciones de hormigón, con fisuras por las que puede circular agua.

Esta cicatrización se produce debido a la carbonatación del hidróxido cálcico del cemento. Los cristales formados de carbonato cálcico forman una masa coherente entre sí que se adhiere al hormigón recuperando su continuidad. Esta adherencia puede llegar a ser tan fuerte, que se puede considerar recuperadas las propiedades mecánicas iniciales del hormigón. No obstante, al ser inevitablemente una zona delicada, tal consideración sólo se hará ante acciones provocadas por cargas estáticas y más o menos constantes.

2.1.2. Ocratización

Consiste en el sellado de las fisuras, utilizando un gas de tetrafluorsilice, que se inyecta a presión en las fisuras. La ocratización se produce al reaccionar el gas con el hidróxido cálcico, silicatos y aluminatos liberados en la hidratación del cemento. Más moderno es el empleo de vidrio líquido —Fluorsilicato de sodio y potasio—, el cual, sólo requiere aplicarlo exteriormente sobre la superficie seca del hormigón.

Las fuerzas de capilaridad inducen a entrar al líquido en el interior de la fisura, reaccionando con la cal, y formando fluorsilicato cálcico insoluble. Este fluorsilicato cálcico va llenando la fisura desde el fondo hasta el exterior, restableciendo las propiedades mecánicas iniciales del hormigón. Este método se podrá emplear en fisuras de muros de contención no demasiado profundas.

2.1.3. Grapado

Este sistema consiste en el refuerzo de la zona afectada, por colocación de grapas o lañas de acero, que haciendo puente entre los dos planos de hormigón divididas por la fisura, hacen un cosido de la pieza. Este cosido no hace la fisura estanca, Para ello, se requiere un sellado previo que evite la exposición del interior del hormigón, Por el contrario, restituye la resistencia a la tracción del hormigón, o incluso, la aumenta.

Las grapas, con forma de «U» achatada, se colocan haciendo unos taladros por los que se introducen las patillas, y se embeben en un mortero especial sin retracción, o en una resina epoxi. En ciertos casos, toda la zona grapada se cubre con una capa de mortero o de hormigón proyectado.

La colocación de estas grapas sólo tiene sentido cuando lo que se quiere es dar continuidad a la resistencia a la tracción de la pieza. Por ello, sólo se graparan zonas traccionadas. Las grapas son las encargadas de absorber y transmitir los esfuerzos de tracción de una parte a otra del hormigón. La longitud total de las grapas, la frecuencia relativa de éstas, y sobre todo, su diámetro, se deben dimensionar de acuerdo a los esfuerzos de tracción que deberán soportar.

Las grapas se colocarán con diferentes orientaciones, para absorber así los esfuerzos cortantes que se generan entre las dos superficies que limitan con la fisura. Si no se prevé estos esfuerzos cortantes, se puede producir un deslizamiento relativo de las dos partes de hormigón, torsionando las patillas de las grapas y girando las misma s por el par generado.

En el caso de que la pieza de hormigón esté fisurada por ambas caras, o incluso, seccionada, si se opta por este sistema de reparación, se deben realizar las dos caras. De esta forma se evita que las grapas trabajen a flexión. A pesar de todo, este caso particular es de solución complicada.

En muros de contención, si se pretende reparar fisuras en la cara traccionada del alzado (trasdós) se deberán sellar previamente y, después de poner las grapas, recubrir con mortero o resina epoxi. De esta forma se evita, tanto un posible pandeo de las grapas (si son muy esbeltas), como una peligrosa corrosión de las armaduras de tracción.

2.1.4. Inyección de resinas epoxi

Esta es la técnica más empleada y consiste en inyectar en las fisuras una resina epoxi, que suelde las paredes internas de la fisura. Este sellado consigue hacer estanco a un hormigón fisurado, además de restablecer su continuidad mecánica. No obstante, en este último caso, hay que conocer la causa que llevó al elemento estructural a la fisuración, ya que podemos estar trasladando el problema de una parte a otra. El motivo que nos lleve a realizar el sellado, dependerá de los problemas que causen la fisuración (fugas en depósitos. pérdida de resistencia en piezas flexionadas, exposición a agentes agresivos externos, etc.).

Este sistema de reparación es adecuado para fisuras muertas (sin movimiento), no así para fisuras no estabilizadas. Aún así, en caso de que sólo se busque en la reparación la estanqueidad del hormigón, y no su continuidad mecánica, en fisuras vivas se puede emplear formulaciones epoxi flexibles, sellando el hormigón e impidiendo el paso de agua y la corrosión de armaduras.

Dentro de los materiales de inyección, se suelen emplear:

- Formulaciones epoxi rígidas; son las más típicas y no emplean disolventes
- Formulaciones epoxi flexibles
- Resina de metacrilato de metilo; penetran por capilaridad
- Resinas de poliuretano
- Resinas acrílicas
- Poliésteres insaturados.

La elección del material sellante, depende del caso concreto de reparación. Las propiedades exigibles al material de reparación serán las que determine el problema en cuestión. Generalmente, los materiales de reparación de fisuras, deben poseer un módulo de elasticidad dentro de unos límites inferiores y superiores (entre 2.000 y 5000 N/mm^2 habitualmente), ser resistente a la humedad, resistir el ataque de los álcalis del cemento y ser económicamente viable su empleo.

Las formulaciones epoxi más usuales, deben reunir además las características siguientes:

- Trabajabilidad adecuada a su empleo
- Periodo de vida de la mezcla (pot life) suficiente para penetrar completamente en las fisuras y evitar la obstrucción de los equipos de inyección
- Curado rápido, tolerante a la variación de la temperatura y humedad
- Tolerancia en la dosificación (en torno al 20 %)
- Deformación posterior y baja retracción al endurecer
- Viscosidad baja, para sellar completamente las fisuras más finas.

En la siguiente tabla, se dan unas recomendaciones de empleo de distintas formulaciones epoxi sin disolventes en función del ancho de la fisura a reparar:

En el caso de sellado de fisuras vivas, si se emplean resinas epoxi flexibles, es conveniente que tengan un alargamiento de rotura del 100 % (tabla 2.1).

Tabla 2.1. *Tipologías de fisuras y formulación recomendada.*

Ancho de fisura (mm)	**Formulación epoxi recomendada**
< 0,2 mm.	F.E. Bicomponente, con viscosidad en torno a unos 100 cP a 20ºC
0,2 – 0,6 mm.	F.E. Bicomponente, con viscosidad inferior a 500 cP a 20ºC
0,6 – 3 mm.	F.E. Bicomponente, con viscosidad inferior a 1.500 cP a 20ºC. Se pueden emplear con cargas de polvo de cuarzo o de vidrio.
> 3 mm.	F.E. cargadas. La carga puede ser arena de tamaño máximo < 1 mm, ó 0,6 para el espesor mínimo de fisura.

Tabla adaptada por el autor

2.1.4.1. Pasos a seguir en la inyección por presión de fisuras

A continuación, se mencionan los pasos a seguir para la correcta inyección de fisuras:

Limpieza y secado de la fisura. Es necesaria una limpieza y secado de las fisuras para eliminar la materia orgánica, impurezas y agua o humedad que pudiera haber. Para la limpieza de materia orgánica, se emplea un ácido diluido, seguido de una inyección de abundante agua. En este caso se deberá emplear en la inyección, una formulación compatible con el agua. En el secado, se opera soplando aire caliente por las boquillas que se dispondrán en el sellado temporal.

Sellado temporal y externo de la fisura y la superficie en torno a esta. Se hace para evitar la salida de la formulación al exterior en el proceso de inyección. Se pueden dejar colocadas ya, las boquillas por donde se inyectará la resina. Existen 3 sistemas de sellado de las caras de las fisuras, en función del ancho de las mismas y del estado del hormigón:

Sellado de la superficie con cinta adhesiva. Se emplea en fisuras estrechas, y en hormigón sano. Se suele emplear con tejido de vidrio impregnado en resina epoxi, o *Sellado con una masilla epoxi*. Para fisuras más anchas o con hormigón deteriorado.

Cajeado en sección en «V». Se emplea en hormigón muy deteriorado, y consiste en una abertura superficial, eliminando parte del hormigón atacado. Se limpia la abertura realizada y se sella a continuación por medio de una masilla epoxi específica.

Inyección. Se realiza habitualmente cuando las fisuras tienen un ancho mayor de 0.1 mm., pudiéndose llegar incluso hasta 0.05 mm. También se emplea en reparación de superficies verticales. En superficies horizontales, si las fisuras no son excesivamente finas, se puede realizar el llenado de estas por gravedad. La inyección se realiza a través de boquillas o tubos, habitualmente por presión (ver inyección por vacío).

Deben tener válvulas anti retorno, o algún dispositivo que evite la salida al exterior de la formulación.

Las boquillas deberán estar colocadas a intervalos comprendidos entre 30 cm y 1 m., según sea el ancho y la profundidad de la fisura.

Si hay ramificaciones (fisuras por retracción térmica, por exceso de flexión, por ejemplo) se colocará una boquilla en cada punto de separación de ramas. La inyección se realiza introduciendo la formulación epoxi a presión. El equipo de inyección puede estar formado por pistolas o gatos, equipos inyectores mecanizados, o alones de caucho. En el caso de los equipos de inyectores, hay de 2 tipos fundamentalmente:

Inyección con formulación previamente mezclada.
Son más económicos. Pueden consistir en una pistola de engrase, o por ejemplo, en un calderín con impulsión de aire comprimido.

Equipos con dispositivo de mezcla de la formulación a su salida.
Más caros, pues requieren dispositivos de medida, mezcladores, y los propios inyectores.

La presión de inyección es muy variable, según la lesión a reparar. Es frecuente no superar los 2 N/mm2.

En la siguiente tabla (2.2) se recogen algunas recomendaciones al respecto:

Tabla 2.2. *Presión a aplicar en función del ancho y formulación.*

Ancho de fisura y formulación	Presión
Ancho de fisura en torno a 2mm., y formulación muy fluida	En torno a 0,1 N/mm^2
Ancho fisuras 0,6 – 2mm.	> 0,1 N/mm^2
Ancho fisuras < 0,1 mm.	> 1 N/mm^2

Tabla adaptada por el autor

En el caso de reparación de superficies verticales, tales como paramentos de obras y muros de contención, se inicia la inyección por la boquilla más baja, purgándose el aire en la boquilla inmediata superior.

Una vez que rebosa la resina por esta última, se tapona la boquilla, y se conecta el inyector a la boquilla inmediata superior. Y así sucesivamente, se opera con las distintas boquillas.

Eliminación de la capa de sellado. Por razón es estéticas, y una vez endurecida la formulación, se puede quitar la capa de sellado inicial, siempre que ésta sea sólo superficial. La reparación en muros de contención de hormigón armado suele afectar, más bien, a partes no visibles ocultas por el terreno (fisuras por exceso de flexión fundamentalmente), en cuyo caso no es necesario eliminar dicha capa de sellado.

2.1.4.2. Puntos a tener en cuenta

Para la correcta inyección de las fisuras con resinas epoxi hay que tener en cuenta que:

- La preparación, limpieza y exactitud en las dosificaciones, determinarán en gran medida el éxito de la operación.
- La inyección se debe realizar ininterrumpidamente en cada fisura, y con la lentitud que asegure que la formulación penetra en todas las ramificaciones que pudiera haber.
- Los consumos excesivos de resina denotan, si el sellado y taponamiento de las boquillas es correcto, la existencia de una coquera en el interior del hormigón. En ese caso, hay que recurrir a ensayos de información para ver la magnitud del defecto.
- En el caso de que la temperatura ambiental sea inferior a 8ºC, es conveniente recurrir a resinas acrílicas debido al aumento de viscosidad de las resinas epoxi ante bajas temperaturas.

2.1.4.3. Inyección por vacío

Es una técnica más moderna que la inyección por presión. Consiste en la inyección mediante la creación de un vacío. Es más costosa que la inyección por presión, pero tiene algunas ventajas con respecto a aquella. Entre otras ventajas, citar la posibilidad de rellenar simultáneamente un gran número de fisuras en una zona determinada. También sirve para rellenar coqueras. Para efectuarla, se coloca una tela de gallinero sobre la zona a reparar, y se cubre toda la zona con una lámina de poliuretano grueso, sellándose en todo su contorno. Después, se crea un vacío mediante un equipo con bombas. De esta forma, al extraer el aire se arrastra polvo, impurezas y la humedad de las fisuras. Una vez realizada esta limpieza, se deja

penetrar la resina entrando con facilidad y penetrando por completo en todos los huecos de las fisuras.

2.1.4.4. Eficacia de la reparación

La eficacia de una reparación por inyección de las fisuras, se puede estimar, bien mediante la extracción de probetas testigo cilíndricas o mediante el empleo de ensayos de información no destructivos. Dentro de los ensayos no destructivos, el método más adecuado es el de los ultrasonidos.

Para considerar una reparación por inyección aceptable, la resina ha de haber llenado el 90 % de la profundidad de la fisura. El comportamiento de elementos estructurales, con fisuras reparadas mediante este sistema es bastante bueno según demuestra la experiencia. A efectos de cálculo, no obstante, y por seguridad, se supone un 20 al 30 % de reducción de las resistencias mecánicas.

2.1.5. Inyección de pastas de cemento y micro-hormigones

Este método es muy adecuado a la reparación de grandes fisuras en muros de contención y presas; siempre que las fisuras o grietas estén estabilizadas. La forma de operar es la siguiente: se limpia el hormigón, se colocan los inyectores, se sella la fisura, se sopla aire dentro de la fisura para eliminar la humedad, se comprueba la resistencia del sellado, y se inyecta la pasta.

El material de relleno empleado es pasta o lechada de cemento y agua. A veces se emplean con cenizas volantes y arena fina, si el ancho de las fisuras es lo suficientemente grande. La relación agua / cemento debe ser lo más baja posible, para disminuir al máximo la retracción.

Hay productos de inyección especiales, basándose en mezclas químicas que forman geles, espumas o precipitados sólidos. Se deben emplear en casos particulares, en fisuras en medios muy húmedos (con filtraciones de agua), en fisuras demasiado finas para aplicar un mortero, y en todos aquellos casos en donde sea necesario controlar el tiempo de endurecimiento del relleno. Estos productos suden tener poca resistencia mecánica.

2.1.6. Morteros especiales de taponamiento

En grietas muy grandes y estabilizadas, se pueden emplear morteros prefabricados con muy poca cantidad de agua, y una retracción despreciable. Las grandes ventajas de este método son que el material de relleno tiene muy buenas cualidades resistentes, de durabilidad e impermeabilidad, frente a una retracción despreciable. Por contra, es caro si se requiere una gran cantidad de relleno.

2.2. *Proyecto de reparación y pronóstico de la obra*

Una vez elaborado el Informe Preliminar, se deben concluir cuáles serán las acciones a realizar para solucionar el problema en cuestión. Aceptado éste por el promotor de la reparación, se elaborará el Proyecto de Reparación o Dictamen de la obra, según la gravedad de las lesiones e importancia económica y/o técnica de la reparación. Un Dictamen es una solución sencilla y concreta del daño sufrido, y un Proyecto de Reparación exige intervenir la obra de forma contundente, entrando todos o parte de los elementos de una obra nueva.

Un Proyecto de Reparación es la expresión formal del estudio de las lesiones, diagnóstico, reparación de las lesiones y pronóstico previsible de la obra una vez reparada.

Este proyecto consta al menos de:

1. *Memoria*. Incluye los antecedentes de la obra, sus daños, medidas urgentes o no que se deben tomar, tiempo para ejecutar la reparación, descripción detallada de la solución. Contendrá un Anejo de Cálculo en el que se incluyan todos los cálculos que han sido necesarios para dar con la solución final.

2. *Planos generales y de detalles constructivos necesarios*.

3. *Prescripciones técnicas* que se deben cumplir en toda la ejecución de la reparación, Se tendrá especial atención a las pruebas de puesta en carga, si las hay.

4. *Mediciones y Presupuesto*. Se detallarán las unidades de obra que conforman la so lución final, y el coste total de la reparación.

5. *Estudio de Seguridad y Salud*. Se integrará con el resto de documentos.

El pronóstico expresa cual será el futuro de la obra, una vez reparada. La obra no será la misma que en su origen, y tendrá unas características resistentes y de servicio distintas. Dichas características afectarán al uso posterior de la estructura. Por ejemplo, un edificio se puede reparar por una grave lesión de forma viable, y puede emplearse posteriormente como soporte físico de algún órgano administrativo, pero se desaconseja darle un uso como edificio universitario para laboratorios. Ello es acorde a la seguridad, sobrecargas de uso permitidas tras la reparación, y futuro previsible para la estructura. Asimismo, la reparación de un muro de contención que sirve de soporte a una obra de paso, puede ser viable en una vía de tráfico de baja intensidad, no así en una autopista.

Por otro lado, el mantenimiento de la estructura a lo largo del tiempo es fundamental. No se debe abandonar una vez reparada, pues pueden volver a aparecer los mismos u otros problemas patológicos.

Para dar un pronóstico de la obra, nos podemos auxiliar de los ensayos de información oportunos, viendo cual es la efectividad de la reparación efectuada, y la capacidad resistente residual de la estructura. En ese caso, el pronóstico definitivo será posterior al Proyecto de Reparación.

3. Métodos de reparación del hormigón armado

Las barras de acero de las estructuras de hormigón, normalmente no se corroen, por la formación de una capa de óxido estable que pasiva la superficie del acero, que se forma tras un breve proceso inicial de corrosión. Durante el proceso de fraguado del hormigón, se desarrolla una alta alcalinidad que, en presencia de oxígeno, favorece la consolidación de esta capa de óxido «protectora», y que se mantendrá, mientras el electrolito conserve su alcalinidad. En condiciones normales el hormigón tiene un pH de 12 aproximadamente, por la presencia de hidróxidos de calcio, potasio y sodio; mientras, la presencia de esta capa de óxido aísla al acero del medio en el que se encuentra. Sin embargo, la carbonatación y la contaminación por cloruros son procesos que alteran la alcalinidad del medio y la estabilidad de la capa de óxido y en consecuencia la pasividad del acero.

Tradicionalmente las intervenciones de rehabilitación en las armaduras han venido encaminadas a la limpieza de los óxidos, su pasivación y su protección final mediante un recubrimiento rico en zinc (así como la reposición de las armaduras con pérdidas importantes de su sección resistente). No obstante, este tipo de intervención deja de lado la evidencia de que el elemento protegido (aun suponiendo una perfecta intervención, que no es habitual) sigue en contacto eléctrico con el resto de armadura embebida en el hormigón, dentro de electrolito y por consiguiente con la pila electroquímica activa y el proceso de corrosión en marcha. Motivo por el cual no sirve de nada la protección dada ya que el elemento no ha sido aislado por completo de su entorno, tan solo de forma muy parcial.

De hecho, además, es muy habitual que cuando se interviene sobre las armaduras no se haga en todo su perímetro, sino tan solo hasta donde el hormigón se encuentra deteriorado. Si la armadura no se protege en todo su perímetro ocasionará que la parte no protegida interior actúe como ánodo, frente al resto de la superficie metálica recubierta, dando lugar a un proceso de corrosión muy rápido concentrado en estas pequeñas zonas. Los depósitos de herrumbre creados en la parte interior de la armadura no tratada crearán tensiones que empujarán el recubrimiento nuevo creado en forma de estallido, acusándose la ruptura de los hormigones en la interfase entre hormigón viejo y mortero estructural nuevo por ser este un punto delicado en lo que se refiere a la adherencia entre ambos materiales.

Es por ello que se hace necesaria la utilización de otros procesos que traten de reducir el potencial eléctrico formado en la pila. Para ello se debe conseguir que toda la superficie trabaje como cátodo de una pila, de esta forma el metal no cederá electrones y, por lo tanto, permanecerá inmune a la corrosión. A esto se le conoce como protección catódica.

Podemos distinguir dos métodos de protección catódica; 1. Protección catódica por ánodo de sacrificio y 2. Protección catódica por corriente impresa.

Protección catódica por ánodo de sacrificio

Al unir eléctricamente dos metales de distinto potencial electroquímico, estando ambos en el mismo electrolito (tierra, agua de mar, agua dulce, etc.) se establecerá entre ellos, una pila galvánica en la que el metal más electronegativo (ánodo) cederá electrones al más electropositivo (cátodo), protegiéndose este a expensas de la corrosión del primero. En la serie electroquímica de los metales podemos ver que el hierro y el acero podrán ser protegidos conectándose a piezas de aluminio, zinc y magnesio. A estas piezas se les conoce como ánodos de sacrificio ya que se irán disolviendo, para mantener el acero en estado de inmunidad. La marca comercial Corrpro tiene desarrollada un revestimiento exterior para el hormigón consistente en una aleación de Aluminio-Zinc-Indio que es proyectado sobre la superficie externa del hormigón y conectado a las armaduras de forma que actúa como ánodo de sacrificio.

Protección catódica por corriente impresa

El suministro constante de electrones al cátodo, puede hacerse también desde una fuente de corriente eléctrica continua, la cual tendrá su polo negativo conectado a un conductor eléctrico, sumergido en el mismo medio, a distancia conveniente de la estructura. Con esta disposición, la corriente eléctrica continua pasará, desde el conductor (ánodo) a la estructura, a través del electrolito, estableciéndose así la misma pila de protección que en el caso anterior. El principal sistema de protección catódica en estructuras de hormigón consiste en la instalación de malla/cinta de titanio. Es la técnica más duradera y adecuada para la mayoría de casos. La utilización de la malla/cinta de titanio cubriendo el exterior de la estructura de hormigón, proporciona un reparto de corriente uniforme. Una vez instalada la malla o cinta se aplicará una capa de mortero para dejar la malla anódica integrada en el mismo electrolito en el que se encuentran las barras de acero.

De acuerdo con los materiales a emplear en una reparación del hormigón armado y con su forma de colocación, se pueden dividir con arreglo al siguiente esquema:

3.1. *Sistema manual*

Es aquel sistema en que los diversos materiales a emplear se colocaran de forma manual, pasemos a analizar cada uno de los diversos sistemas manuales.

3.2. *Sistema de morteros aditivados o sistema tradicional*

Este sistema es el que en la obra se fabrican los materiales de reparación, partiendo del cemento y arena y añadiéndole diversos aditivos que confieran a esos materiales las características necesarias para que cumplan su función dentro de un proceso general de reparación.

3.3. *Sistema de morteros preparados monocomponentes*

Este sistema es el que los fabricantes suministran las partes sólidas de los materiales de reparación (cemento, áridos seleccionados, aditivos en polvo, etc.) y en la obra se le añade la cantidad de agua estipulada.

3.4. *Sistema de morteros preparados bicomponentes*

Este sistema es el que los fabricantes suministran tanto la parte sólida de los materiales de reparación como sus componentes líquidos (resinas sintéticas) y en la obra se mezclan entre sí.

3.5. *Sistema de morteros a base de resinas epoxi*

Este sistema está basado en morteros en los que el aglomerante son las resinas epoxídicas.

3.6. *Sistema mecánico*

Es aquel sistema en que los diversos materiales a emplear se colocarán de forma mecánica.

De forma generalizada se adopta una actuación de este tipo en forjados de viguetas a las que se aplica una substitución funcional por la cara inferior de los forjados mediante la adición de un elemento estructural retacado a la vigueta a reforzar.

Existen multitud de sistemas de substitución funcional de viguetas tanto sistemas tradicionales mediante perfilaría de acero como sistemas patentados. Estos últimos nos ofrecen unas mayores garantías a una relación calidad-precio equilibrada. Ya que suelen ser sistemas en los que se ha estudiado en detalle el mayor aprovechamiento útil del kg de acero por kN de refuerzo adoptando además el sistema una protección en modo de tratamiento galvanizado que ofrece una elevadísima resistencia frente a la corrosión.

Dentro de estos sistemas tenemos el comercializado por Mecanoviga, el cual consta básicamente y de forma genérica del siguiente proceso:

- Apuntalamiento, con desapuntalamiento puntual de la vigueta a actuar.
- Demolición de entrevigado.
- Saneado de viguetas afectadas demoliendo todo el material que no se encuentre en buen estado.
- Colocación de placas de anclaje a puntos de anclaje mediante anclaje químico (vigas descolgadas, muros).
- Montaje de la viga MVH Mecanoviga a contraflecha y atornillado controlando los pares de apriete.
- Puesta en carga de la Mecanoviga.
- Retacado de la Mecanoviga a la vigueta reforzada mediante mortero específico de la patente.
- Tras los tiempos de fraguado y endurecimiento, desapuntalamiento.

4. Fases generales de un sistema de reparación de hormigón armado

Vistos los diferentes sistemas de reparación del hormigón armado, pasaremos a continuación a determinar las diferentes fases de que están compuestos.

- Saneado
- Limpieza
- Pasivación
- Regeneración
- Revestimiento
- Protección

4.1. *Trabajos de Saneado*

Los trabajos de saneado de los daños causados al hormigón incluyen en principio la preparación del soporte de hormigón, tratamiento preliminar y la protección contra la corrosión de las armaduras, el reperfilado, remodelado o regenerado del hormigón mediante morteros y las medidas de protección de la superficie del mismo.

Independientemente de la elección de un producto adecuado, el método de trabajo utilizado para la puesta en acción del saneado es de decisiva importancia en cuanto al éxito de este saneado. Para que estas medidas de saneado no sean sólo un remiendo el trabajo ha de consignarse a personal competente que tenga ya experiencia en los productos utilizados y unos equipos adecuados a este tipo de trabajo.

También debe haber un deseo de llevar a cabo el trabajo de forma cuidadosa y concienzuda.

4.2. *Tratamiento previo del soporte de hormigón*

El soporte que constituye el hormigón debe cumplir ciertas condiciones, lo mismo para su reperfilado como para los eventuales revestimientos de protección o colocación de refuerzos. La superficie del soporte ha de ser sólida, libre de cualquier rastro de lechada, zonas de hormigón degradado o friable, sustancias que formen capas separadoras, tales como aceite, grasa, huellas de neumáticos, así como los restos de productos de curado y pinturas. Esta superficie ha de quedar limpia de cualquier traza de polvo o de arena y presentar una superficie de adherencia suficiente.

Han de cumplirse estas condiciones para conseguir una adherencia suficiente y duradera entre el soporte de hormigón y el nuevo material destinado al saneamiento. En la mayoría de los casos, la superficie de este soporte ha de ser tratada mediante medidas adecuadas, que correspondan a las condiciones que hay que cumplir.

4.3. *Control de la superficie del hormigón*

Para determinar la amplitud y la elección de los métodos más ventajosos de tratamiento previo del soporte, lo mismo bajo el punto de vista técnico como económico, pueden ser útiles algunas comprobaciones de la superficie:

- Al pasar la mano sobre la superficie es posible reconocer si se trata de un hormigón que se deshaga en polvo o en arena.
- Al golpear la superficie del hormigón con un martillo, se consiguen indicaciones referentes a su solidez. Un sonido claro indica que se trata de un hormigón sólido. Un sonido apagado claro indica un hormigón quebradizo. Cavidades situadas bajo zonas antiguamente tratadas en el hormigón o sobre armaduras oxidadas dan un sonido amortiguado.
- Al frotar el martillo sobre la superficie del hormigón, es posible detectar por el sonido que se percibe, la existencia de capas finas de mortero, lechadas o revestimientos mal adheridos.
- Rascando con un cuchillo o un destornillador es posible desprender partes disgregadas blandas y friables de la superficie del hormigón. Cuando se trata de capas de lechadas o morteros de escasa resistencia, se producen rayas fácilmente reconocibles.
- Rociando la superficie del hormigón con agua, se pueden comprobar numerosos indicios:

  — Tras la prueba de rascado, pueden aparecer zonas que absorben más débilmente el agua y que brillan, mientras que las rayas provocadas, por el contacto, absorben el agua.
  — Unas fisuras en la superficie del hormigón retienen durante más tiempo la humedad y aparecen así más oscuras que la zona circundante.
  — Cuando el agua forma perlas o estrías, es la prueba de que existen restos de desencofrantes o de productos de curado, lo que indican en todos los casos una disminución de la adherencia al soporte.

De modo general, la porosidad y permeabilidad pueden determinarse:

- Se puede demostrar que existe humedad o infiltración de agua a través del hormigón colocando encima y pegando sólidamente en sus bordes una lámina de plástico si debajo de ella aparece agua de condensación.
- Colocando y apoyando con fuerza una cinta adhesiva en la superficie se puede determinar al arrancarla si el soporte presenta una adherencia demasiado débil, lo cual se manifiesta por elementos que permanecen pegados a la cinta.

Como complemento, debemos recordar los controles de la profundidad de carbonatación, de la concentración de productos nocivos y del espesor del recubrimiento sobre las armaduras.

4.4. *Métodos para el tratamiento previo*

En función del resultado de los exámenes y controles indicados anteriormente, el tratamiento preliminar de la superficie del hormigón permite alcanzar las siguientes finalidades:

- Eliminación de todas las partes quebradizas o disgregadas que no se encuentran lo bastante adherida al soporte del hormigón.
- Eliminación de todas las zonas débiles que no resisten las tensiones debidas a la tracción del material de reparación previsto, o de las que se produzcan como consecuencia de las variaciones de temperatura.
- Eliminación de la suciedad, aceites, grasas o restos de pintura así como de todas las películas separadores que pueden comprometer la adherencia.
- Eliminación del hormigón que contenga una elevada concentración de productos nocivos que presentan un peligro para la protección de las armaduras contra la corrosión.
- Poner al descubierto las armaduras oxidadas para que sean tratadas por separado.
- La mayor parte de los métodos de tratamiento previo implican un decapado del soporte para aumentar su superficie de adherencia. Además se consigue un entrelazamiento mecánico entre el soporte y el material de revestimiento, lo que ofrece una ventaja en caso de esfuerzos a cizallamiento. Los métodos para el tratamiento preliminar del soporte han de tener en cuenta particularmente:
- La posición del soporte (posición horizontal, vertical o en techo).
- Tamaño de las superficies por tratar (lugares aislados, pequeñas o grandes superficiales).
- La naturaleza o espesor de las capas a eliminar (hormigón deleznable, impurezas, viejos revestimientos, capas delgadas o gruesas).
- Los medios de que dispone la empresa de hacer el trabajo.
- El espesor de la capa y la naturaleza del revestimiento que se aplicará al soporte.

Descripción de los métodos de limpieza y tratamientos previos más utilizados para eliminar las capas que pertenecen a la masa del soporte de hormigón o que se le han añadido.

4.4.1. Chorro de arena

Mediante chorro de arena, resulta posible quitar delgadas capas, tales como lechada de cemento, restos de pinturas y ante todo las impurezas de la superficie. Este procedimiento no es válido para eliminar el hormigón cuya resistencia es insuficiente ni para capas gruesas de hormigón. Resulta particularmente económico para el tratamiento de grandes superficies y permite llegar a ángulos y rincones no accesibles por otros medios. El inconveniente que tiene es que desprenden mucho polvo.

4.4.2. Chorro de agua a alta presión

Según sea el equipo de que se dispone, se limpia la superficie por medio de chorro de agua que pueden alcanzar la presión de 1.000 atm., claro está que hay que evacuar el agua así utilizada. Este procedimiento es uno de los mejores tanto por su coste como por su eficacia para el tratamiento de las superficies, en particular cuando el mortero de reparación o los revestimientos son a base de cemento.

4.4.3. Chorro de agua mezclado con arena

Añadiendo al chorro de agua materiales en suspensión, tales como arena de cuarzo, se puede aumentar la potencia y eficacia del tratamiento por chorro de agua.

4.4.4. Chorro de llamas

Utilizando un quemador de llama ancha, o más exactamente una envoltura de llamas. Se calienta durante poco tiempo la superficie del hormigón a una temperatura elevada y se consigue que dicha superficie se disgregue y desprenda en capas hasta una profundidad de 5 mm. Además todas las impurezas orgánicas, tales como el aceite, grasa alquitrán, trazas de neumático, capas viejas de pintura. etc., se queman. Este procedimiento permite en algún modo un descascarillado del hormigón, lo cual está perfectamente indicado para bordes disgregados, por ejemplo por agresiones de origen químico. Un inconveniente es que este método disgrega parcialmente la estructura del hormigón que se encuentra debajo por lo que es necesario proceder luego a un fresado en la superficie del hormigón o someterla a un chorro de arena. Este procedimiento no es adecuado para hormigón armado que tenga poco recubrimiento de las armaduras.

4.4.5. Fresado

Mediante este procedimiento, unas laminillas que giran alrededor de un eje horizontal o martillos colocados unos al lado de otros perpendicularmente a la superficie del hormigón, desprenden las partes desmenuzables del soporte. La profundidad del tratamiento puede regularse en el momento del fresado mediante laminillas diferentes. La estructura restante del hormigón no se ve estropeada y se consigue un buen tratamiento preliminar de la superficie del hormigón, el cual sin embargo ha de ser desprovisto del polvo y de las partículas desprendidas.

4.4.6. Otros procedimientos

Se consigue un buen resultado sobre el hormigón quebradizo mediante la utilización de una pistola de aire comprimido. Sin embargo, este procedimiento sólo es aplicable, por motivos económicos, a pequeñas superficies. La utilización de chorro de vapor da buen resultado para limpiezas de superficie, particularmente cuando se trata de impurezas de origen atmosférico.

El tratamiento de la superficie del hormigón con ácido ha de hacerse con sumo cuidado y exige cierta experiencia. Un profundo lavado del hormigón es una condición absolutamente necesaria antes y después del tratamiento con ácido. Si se puede evitar este método, resulta preferible. Si no se puede hacer otra cosa se debe utilizar ácido fosfórico con una concentración de 5 a 10 %.

4.4.6.1. Protección de las armaduras contra la corrosión (pasivado)

El estado de las armaduras representa un papel decisivo para cualquier saneamiento. Sólo unas armaduras desprovistas de óxido permiten unas medidas de saneamiento que den un éxito duradero.

Mientras no ha podido ser retirado el óxido de las armaduras mediante medidas adecuadas, el proceso de corrosión continúa, incluso bajo revestimientos que constituyen una protección impermeable al agua o al aire, este proceso dará lugar tarde o temprano a nuevos daños.

La protección contra la corrosión puede aplicarse, ya sea directamente sobre las armaduras, en los casos en que estas no muestren aún óxido sobre el hormigón que no está aún carbonatado y no contenga productos nocivos con una concentración crítica.

Para la protección aplicada directamente a las armaduras se dispone de diversos sistemas: a base de resinas reactivas, a base de la utilización del cemento mejorado con unas resinas sintéticas, otro a base de cemento y resinas epoxi. En cualquiera de los casos, las armaduras han de quedar al descubierto en toda la sección y longi-

tud que esté afectada por la oxidación. La eliminación del óxido presenta algunos problemas.

En caso de utilizar chorro de arena, lo cual se recomienda por razones económicas para saneamientos de grandes superficies de hormigón, puede utilizarse también este procedimiento para eliminar el óxido adherido al hierro. En el caso en que, por razones económicas, no es posible

uti1izar un chorro de arena, es preciso quitar todo el óxido posible mediante discos abrasivos o cepillos metálicos. En todos los casos en que existan capas más gruesas de herrumbre, éstas han de ser retiradas con ayuda de un rascador.

Cuando el acero presenta aún una delgada capa de óxido fuertemente adherida, el material de protección contra el óxido debe en primer lugar estabilizar este óxido, hacer que la parte aún no oxidada permanezca pasiva y combinarse con los productos que constituyen electrolitos de forma que se vuelvan insolubles.

Los sistemas de injerto de armaduras no se pueden considerar en si una solución aceptable como íntegra de reintegración de armaduras puesto que, la armadura adicionada al elemento estructural se encontrará, en el momento de la adición, fraguado y endurecido de los morteros reconstituyentes, en un estado tensional inactivo. Mientras que el resto de armaduras del pilar se encontraran en un estado tensional por encima de sus hipótesis de cálculo motivado por la pérdida de armaduras del pilar. Todo ello implica que, para que las armaduras nuevas adicionadas empiecen a ponerse en tensión, se debe producir un aumento considerable del estado de cargas lo que a su vez conllevará, un estado tensional extremo de las armaduras pre-existentes. La conclusión de todo ello es que, las nuevas armaduras adicionadas, puesto que solo empezarán a trabajar en estados tensionales extremos de las pre-existentes, en realidad no colaborarán mucho en la capacidad resistente del elemento estructural. Por todo ello, y de forma genérica en estados moderados de corrosión de las armaduras será imprescindible un refuerzo estructural del elemento que pudiese considerarse substitutivo del total de las armaduras del elemento estructural para que ante cualquier pequeño incremento de cargas comience a trabajar y reste carga de trabajo a las armaduras pre-existentes. No obstante, todo lo cual, todos los sistemas de refuerzo de la estructura vertical «convencionales» parten de un estado tensional cero, por lo que requieren de un aumento o modificación del estado de cargas para que se pueda considerar que comienzan a «ofrecer sus servicios». No obstante, a nivel informativo, indicar que existen sistemas de refuerzo de estructuras capaces de ponerse en carga desde el momento cero de su ejecución consistentes en la disposición de cables postesados con la ayuda de gatos hidráulicos. Estos sistemas son utilizados en casos muy concretos y especiales en obra civil.

4.4.6.2. Reperfilar, remoldear o regenerar con mortero

Se entiende por reperfilado la recomposición de las partes dañadas de la superficie del hormigón para volverle a dar su perfil inicial. En la mayoría de los casos, se

recomienda completar este reperfilado mediante un revestimiento de protección. Para llevar a cabo estos trabajos, se dispone de varios productos. La diferencia entre estos productos se basa en el tipo de su ligante.

Los productos a base de cemento son económicamente más ventajosos. Pueden soportar elevadas temperaturas y se comportan desde el punto de vista físico como el soporte de hormigón (alargamiento debido a la variación de temperatura, módulo de elasticidad, difusión del vapor de agua). Son aconsejables pues para remoldear grandes superficies.

Hace falta de 2 a 10 días para alcanzar la resistencia suficiente.

Hay que preparar el soporte antes de que lo cubra el mortero de cemento, ha de humedecerse suficientemente; sus capilares deben estar saturados en el momento de su aplicación, pero la superficie misma debe presentar un aspecto mate. Con ella se obtiene una absorción limitada del gel del cemento sin provocar una desecación del mortero en la zona de adherencia. Para algunos productos, es necesario hacer una preparación especial de la superficie mediante la aplicación de una imprimación o capa de adherencia.

Mortero a base de resina epoxi. Estos morteros resultan relativamente caros y tienen otras propiedades físicas diferentes a las del soporte de hormigón; ante todo, son prácticamente impermeables al vapor de agua. Para la aplicación de un mortero de epoxi conviene que el soporte previamente tratado, esté lo más seco posible.

Las diferencias generales entre estos dos grupos de productos pueden influir de modo decisivo, según los casos, en su elección. La decisión final debe tomarse teniendo en cuenta el conjunto de condiciones complementarias al saneamiento previsto, como su localización, condiciones climáticas y plazos que hay que respetar. Además es importante saber si, después de los trabajos de reperfilado, debe preverse una protección de la superficie del hormigón o realizar un revestimiento de mortero.

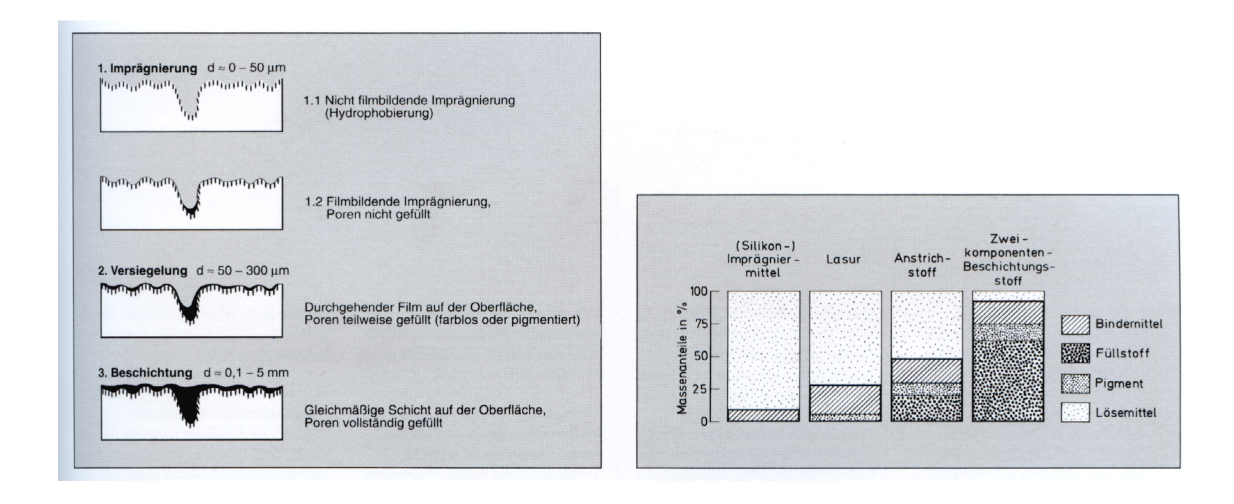


Figura 4.1. Reperfilado del hormigón mediante revestimiento continuo.

5. Esquemas generales de una reparación

5.1. *Proceso de corrosión*

De acuerdo con el esquema adjunto, se observa la existencia de un proceso de corrosión en la armadura, este proceso no presenta ningún síntoma indicativo de su existencia en el exterior y como se aprecia se está produciendo en toda la extensión de la armadura (sección y longitud).

Se suele observar la existencia de un proceso de corrosión en la armadura, este proceso ya presenta síntomas indicativos de un proceso de corrosión manifestándose el mismo por la aparición de una zona fisurada e incluso despegada de la armadura por efecto de las tensiones originadas por el aumento del diámetro de la armadura.

Se suele apreciar que el proceso afecta únicamente a zonas concretas de la armadura y no a todas las zonas con un proceso de corrosión.

5.2. *Proceso de saneado*

Se debe realizar un saneado mediante medios manuales o mecánicos de toda la zona dañada, hasta que el hormigón quede en perfectas condiciones para poder realizar las siguientes acciones de reparación. La armadura deberá quedar exenta en la zona con proceso de corrosión (con señales externas del mismo). La zona a sanear deberá buscar en la armadura zonas donde no exista el proceso de corrosión.

5.3. *Proceso de limpieza*

Se debe proceder a la limpieza de los dos elementos que forman parte del hormigón armado (armadura y hormigón).

La limpieza de las armaduras se realizará por uno de los métodos expuestos a lo largo de la unidad didáctica. De ellos, el más empleado y que ofrece mejores resultados es el de limpieza con chorro de arena.

Para el caso de la superficie de hormigón, con agua a presión.

5.4. *Proceso de pasivado*

Actualmente, los denominados productos pasivantes se aplican directamente mediante las resinas de adhesión del nuevo hormigón. La aplicación de estos productor debe realizarse una vez la superficie está perfectamente limpia y seca.

5.5. *Proceso de regeneración*

Esta fase se procederá a rellenar todas las zonas que anteriormente se sanearon, el relleno se procederá a efectuarse hasta las dimensiones originales o iniciales. Como mínimo deberá aplicarse el mortero de reparación con un espesor de 1 cm.

5.6. *Proceso de revestimiento*

Tras la fase anterior se procederá a dar un revestimiento fino (espesor entre l,5 y 5 mm., por capa) a toda la superficie del hormigón a reparar.

5.7. *Proceso de protección*

De acuerdo con el esquema adjunto, se procederá a aplicar a toda la superficie una protección anticarbonatación. Esta protección deberá ser impermeable y al mismo tiempo no formar barrera de vapor.

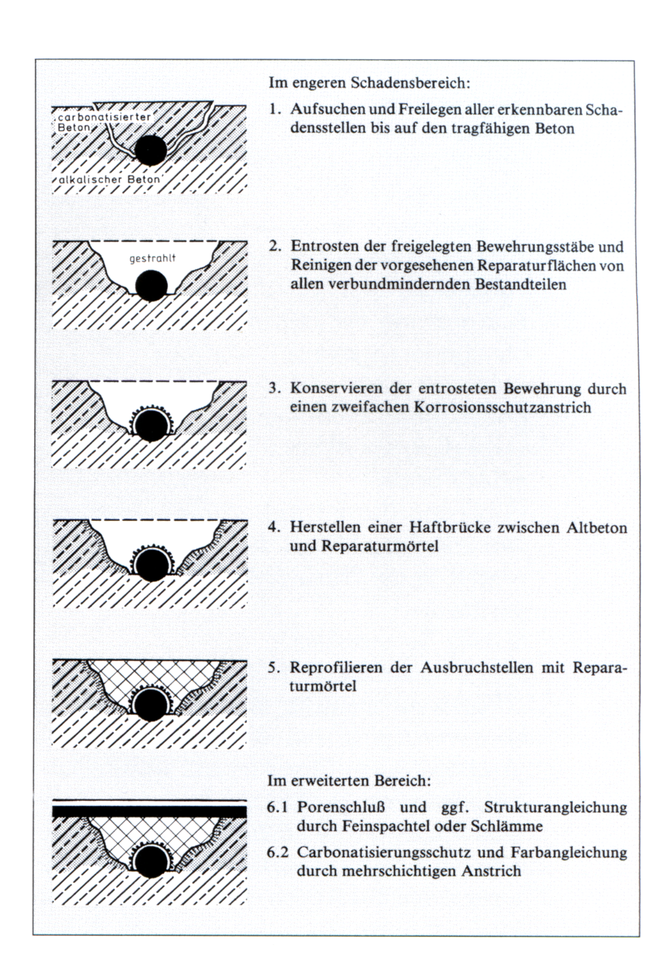


Figura 5.1. Esquema general del proceso de reparación del hormigón.

6. La Norma Europea UNE-EN 1504. Reparación estructural y no estructural de estructuras de hormigón.

La norma europea especifica los requisitos para la identificación, comportamiento (incluida la durabilidad de los materiales) y seguridad de productos y sistemas que se vayan a utilizar para la reparación estructural y no estructural de estructuras de hormigón.

La norma EN 1504 cubre morteros y hormigones de reparación que puedan ser utilizados conjuntamente con otros productos y sistemas para restaurar y/o sustituir hormigón defectuoso o contaminado y para proteger la armadura, con objeto de prolongar la vida de servicio de una estructura de hormigón que haya sufrido un deterioro.

Los campos de aplicación cubiertos de acuerdo con la norma ENV 1504-9 son los siguientes:

Principio 3 Restauración de hormigón
Método 3.1 Aplicación de mortero a mano
Método 3.2 Reconstrucción con hormigón
Método 3.3 Proyección de mortero u hormigón
Principio 4 Refuerzo estructural
Método 4.4 Adición de mortero u hormigón
Principio 7 Preservación o restauración
Método 7.1 Aumento de la cobertura a pasividad de la armadura con mortero u hormigón
Método 7.2 Sustitución de hormigón contaminado

La norma europea define cuatro clases de morteros de reparación: R4, R3, R2 y R1. Las reparaciones se dividen en reparaciones estructurales y reparaciones no estructurales, es decir, aquellas aplicaciones en las cuales se tiene que considerar en el diseño de la especificación de la reparación la transferencia de carga o, alternativamente, trabajos cosméticos. Además, la norma clasifica los productos de reparación para cada tipo de aplicación en productos de alta resistencia o de alto módulo de elasticidad y productos de baja resistencia o bajo módulo de elasticidad.

Las distintas clases no implican comportamientos malos, mediocres, buenos o excelentes de los productos de reparación. Todos los materiales de reparación que cumplen la norma son de alta calidad. La norma sólo indica la clase de mortero de reparación que se debe utilizar para cada aplicación, por ejemplo:

- el hormigón de alta resistencia sometido a fuertes cargas debe repararse con un producto de reparación de alta resistencia / alto módulo de elasticidad, es decir, mortero de clase R4

- un hormigón de menor resistencia sometido a cargas debe repararse con un mortero de reparación estructural de resistencia media y/o módulo de elasticidad medio, es decir, mortero de clase R3
- todos los hormigones que no se encuentren en una situación estructural, es decir, aquellas situaciones en las que no se tiene que transferir carga a través de la zona reparada, se pueden reparar con un mortero de reparación no estructural de calidad más alta, clase R2.
- Además de considerar las clases apropiadas, tiene la máxima importancia reconocer y especificar las condiciones de exposición a las cuales estará sometido del producto. Estas clases de exposición y los ensayos pertinentes del mortero de reparación determinarán la durabilidad de los sistemas de mortero aplicados, por ejemplo:
- un mortero ensayado sólo para retracción / expansión restringida no se podrá utilizar en estructuras que estén expuestas a la congelación y descongelación.
- un mortero aprobado para uso en condiciones de congelación / descongelación (incluida la exposición a sales) se podrá utilizar en todas las condiciones.

Estos requisitos de comportamiento adicionales que se necesitan frecuentemente, por ejemplo, resistencia a congelación / descongelación, deberán especificarse para todas y cada una de las obras a partir de la lista de características de comportamiento denominada en la norma «ciertos usos pretendidos».

6.1. *Compatibilidad del mortero con la estructura reparada*

La compatibilidad entre el mortero y el hormigón de la base es el criterio más importante ya que el mortero de reparación sustituye a una parte de hormigón dañado y debe realizar su función original. Es evidente entonces que la compatibilidad entre el soporte de hormigón y el mortero debe ser analizada con detenimiento. De hecho, la ya citada norma EN 1504 refleja, es sus especificaciones, y de forma concienzuda la necesidad de asegurar la compatibilidad entre mortero y estructura existente.

Esta compatibilidad se relacionará, pues, desde tres puntos de vista:

- Compatibilidad química.
- Compatibilidad electroquímica.
- Compatibilidad dimensional.

Y se llegará a la conclusión de que el hormigón debe repararse con productos lo más similares posible en cuanto a comportamiento tanto en la fase de endurecimiento como una vez endurecidos.

Además se incluirán aspectos relacionados con la compatibilidad constructiva que influirán en la decisión final de la elección del producto. Se trata, en realidad, de

conseguir un equilibrio físico, químico, electroquímico y dimensional. Es decir reparar «igual con igual».

6.2. *Compatibilidad química*

Deberá garantizarse que el mortero de reparación está exento de cloruros que pudiesen afectar a las armaduras presentes en el hormigón de base o en cualquier refuerzo secundario empleado en la reparación. Según la EN 1504-3 el contenido máximo en cloruros debe ser del 0,05 % (medido según el método EN 1015-17).

6.3. *Compatibilidad electroquímica*

La absorción capilar del mortero está relacionada directamente con su porosidad. Es cierto que la mayoría de reparaciones se terminan con algún tipo de acabado superficial decorativo o protector, de modo que la absorción capilar del mortero pierde trascendencia. Sin embargo es una medida de la calidad de mismo y debe situarse por debajo de 0,5 $Kg/m2/h^{0,5}$ medida según el método de la norma EN 13057.

Una absorción capilar reducida asegura una presencia de humedad en el interior de mortero baja con lo que la resistividad del mismo se incrementa. Este incremento reduce el riesgo de corrosión de las armaduras.

Además es sabido que el agua es un poderoso agente de transporte de sustancias potencialmente agresivas para el mortero (cloruros, sulfatos, ácidos…) con lo que una reducción de la absorción capilar impide la penetración no sólo del agua sino de estas sustancias.

Para evitar la penetración del CO2 de la atmósfera y la consecuente reducción de la alcalinidad del mortero por la reacción de este gas con el hidróxido de calcio del cemento los morteros deberán presentar una resistencia a la carbonatación superior a la presentada por un hormigón tipo MC 0,45 en el ensayo determinado por la norma UNE EN 13295.

6.4. *Compatibilidad dimensional*

En la mayoría de los casos, una buena adherencia entre el mortero de reparación y el soporte es el primer requisito para una buena reparación. En general, la adherencia depende mayormente de la calidad de la preparación del soporte aunque la composición de los morteros influye también decisivamente.

La medida de la adherencia puede emplearse también para evaluar la compatibilidad térmica del mortero con el hormigón y la norma EN 1504 así lo especifica. Para ello se medirá el valor de la adherencia después de someter una muestra a tres

sesiones cíclicas diferentes (ciclos hielo-deshielo, ciclos de secado o de inmersión en agua, etc.) y será necesario verificar que no existe merma de adherencia tras los ciclos y que no aparecen fisuras de más de 0,05 mm.

Cada 10 ciclos se evaluará la aparición de desconchados, daños o fisuras y al final del ensayo se evaluará la adherencia y modo de rotura.

6.5. *Módulo de elasticidad*

El módulo de elasticidad es una medida de la rigidez de los materiales. Un mortero de reparación con un módulo E muy elevado se deformará menos que el hormigón cuando el elemento entra en carga pudiendo llegar a romperse, mientras que un material con un módulo E reducido se deforma enormemente bajo carga no aportando capacidad portante.

En general, para la reparación del hormigón, deberán emplearse morteros con un módulo de elasticidad mínimo de 20 GPa aunque en algunos casos podrán ser aceptables morteros con valores mínimos de 15 GPa. La medida de estos parámetros se realizará según el procedimiento de la norma UNE EN 13412.

6.6. *Compatibilidad constructiva*

Frecuentemente se acusa a los fabricantes de materiales de diseñar productos que sólo funcionan en el interior de un laboratorio y que tienen unos límites de aplicación demasiado estrictos por ello.

Es un hecho que varios de los defectos detectados en las reparaciones, a menudo están relacionados por dificultades en la aplicación en obra que provocan anomalías de ejecución. Por ello, la «compatibilidad constructiva» debe determinar una amplitud de posibilidades de aplicación y la seguridad en las ejecuciones de los trabajos.

Esta especificación no se encuentra en la norma EN 1504 de forma directa aunque sí contiene directrices para el control de calidad de los trabajos ejecutados.

Entre las propiedades que consideramos significativas para asegurar la compatibilidad constructiva están: la consistencia, el tiempo de trabajabilidad, la posibilidad de aflicción mecanizada y la resistencia a la figuración.

La consistencia del mortero tiene un efecto crítico en el modo y calidad de su aplicación. Para la aplicación manual en superficies verticales o en techos será imprescindible una consistencia tixotrópica.

El tiempo de trabajabilidad (tiempo disponible entre la mezcla del mortero y su inicio de fraguado durante el cual debe haberse colocado en su posición definitiva)

debe ser lo más prolongado posible para facilitar la manipulación del producto. Se reduce con el aumento de la temperatura y aumenta en caso de temperaturas bajas. En general será deseable que este tiempo sea lo más prolongado posible.

La aplicación mecanizada, reduce la intervención humada y factores como la fatiga, variabilidad y desconocimiento. Por ello es especialmente interesante el diseño de productos aptos para su aplicación bien por proyección, bien por bombeo. En estos casos también el tiempo de trabajabilidad debe ser lo más prolongado posible.

6.7. *Retracción compensada*

La retracción no es sólo un fenómeno que provoca la aparición de fisuras en la superficie del mortero sino que es además la causa de muchos de los fallos en reparaciones (delaminación, pérdida de capacidad portante, corrosión del refuerzo, apariencia inadecuada). La retracción por secado produce que el material aplicado reduzca su volumen, reduciendo con ello su capacidad de soportar cargas estructurales. Sin embargo, la retracción es un fenómeno inevitable en los morteros cementosos ya que por un lado la reacción de endurecimiento del cemento es contractiva y además la evaporación de parte del agua de amasado contribuye a esta disminución de volumen.

Por ello los morteros de reparación del hormigón deben contener sistemas compensadores de la retracción y además, en su aplicación debe asegurarse el amasado con la cantidad de agua necesaria sin sobrepasar el límite recomendado así como un curado cuidadoso para retrasar el inicio de la retracción por secado (puede provocar incluso una ligera expansión).

6.8. *Morteros de reparación*

Morteros de reparación estructural.

- Clase R4: Mortero de reparación estructural, monocomponente, de retracción compensada, muy elevada resistencia y elevado módulo de elasticidad.
- Clase R4 Fluid: Mortero fluido de reparación estructural, monocomponente fácilmente aplicable, de retracción compensada, muy elevada resistencia y elevado módulo de elasticidad.
- Clase R3: Mortero monocomponente de reparación estructural, aligerado, para grandes espesores, y módulo de elasticidad más bajo.

Morteros de reparación no estructural.

- Clase R2: Mortero monocomponente de reparación no estructural, modificado con polímeros, de rápido fraguado, para reparación de parcheo y perfilado en un solo producto.

- FC: Mortero monocomponente de revestimiento no estructural modificado con polímeros, de rápido fraguado, para relleno de poros y alisado superficial en un solo producto. Clase R2.

7. Incremento de la capacidad portante de soportes de hormigón con materiales compuestos

Existen varios métodos de refuerzo de soportes con materiales compuestos. En todos ellos la principal dirección de orientación de las fibras es perpendicular al eje del pilar, y la camisa puede cubrir el soporte totalmente o bien parcialmente en forma de espiral o anillos. Si el sistema de refuerzo empleado incluye parte de las fibras en la dirección longitudinal, éstas no deben de considerarse en el cálculo. Si los polímeros armados con fibras (FRP) se aplican de forma helicoidal, sólo se considera la rigidez de las fibras en la dirección perpendicular al eje.

- *Wrapping*: con este término en inglés se conoce la técnica que consiste en impregnar con resina hojas de fibra unidireccional o tejidos y aplicarlos manualmente sobre el soporte envolviendo el perímetro de la sección. También puede hacerse aplicando una capa de resina sobre la superficie de hormigón, colocando a continuación sobre ella la fibra seca y finalmente otra capa de resina encima.

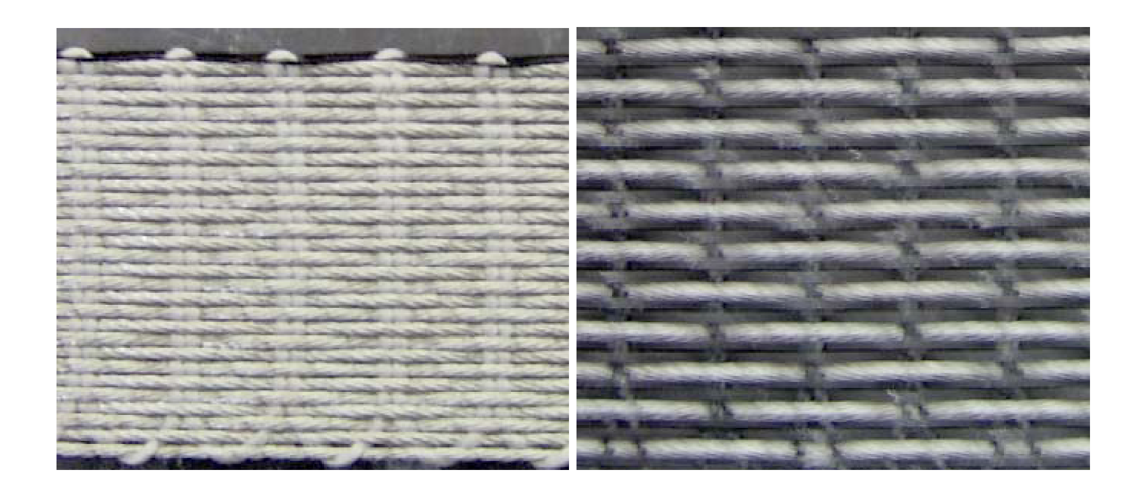
- Bobinado automático: es similar al método anterior, pero se utiliza una máquina que impregna las fibras continuas en un baño de resina antes de enrollarlas alrededor del soporte fabricando una camisa de espesor, porcentaje de fibras y orientación de las mismas controlados. Se obtiene así una camisa de mayor calidad y con un mayor porcentaje de fibras.

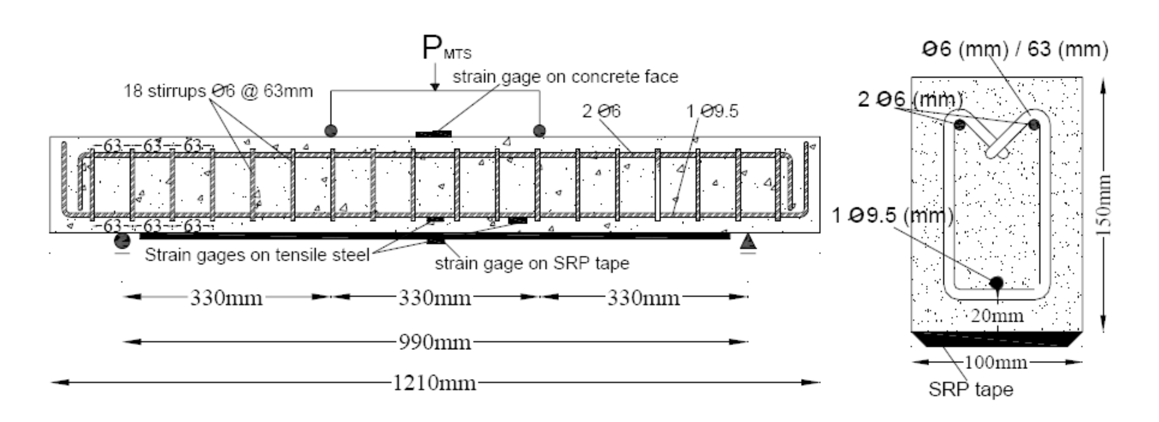
- Encamisado con elementos prefabricados: la camisa está formada por una o varias piezas prefabricadas que se adaptan a la geometría del soporte. Suele fabricarse bien en dos piezas que se pegan entre sí al colocarlas sobre el hormigón, o en una sola pieza con una abertura longitudinal que permite abrirla y envolverlo. Para que el confinamiento sea efectivo es esencial que el soporte y la camisa estén en contacto, lo que se asegura bien pegándola con adhesivos o inyectando un mortero sin retracción en el espacio entre el núcleo de hormigón y la camisa.



Figura 7.1. Proceso de enfajado de un pilar circular.

- Matriz inorgánica incombustible basada en geopolímeros se puede utilizar para sustituir las tradicionales resinas de polímeros orgánicos. Los resultados de los estudios de investigación previos han demostrado que las resinas basadas en geopolímeros son menos permeables que el hormigón, reduciendo el flujo de agua a través de las superficies exteriores debilitadas. Se demostró que la adición de estos sistemas de refuerzo podría ser una alternativa efectiva para el fortalecimiento y reparación de elementos estructurales de hormigón armado. El comportamiento de un refuerzo con compuestos SRP es similar a aquellos con CFRP o GFRP. El SRP es relativamente ligero de peso en comparación con las placas de acero y es más dúctil que las fibras de carbono o de vidrio.





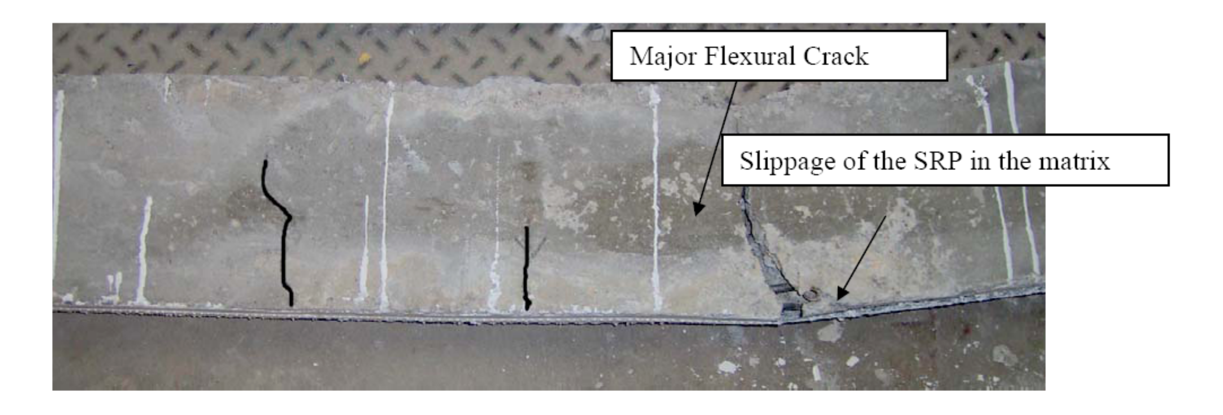


Figura 7.2. Esquemas de rotura de enfajados en elementos rectangulares de hormigón.

*Para elementos estructurales rectangulares el encamisado con tejidos no es tan efectivo como para los cilíndricos, pues los cantos provocan discontinuidad en la tensión aplicada. En aquellos casos, se recomiendan los empresillados metálicos o encamisados de hormigón armado.

Los sistemas de encamisado o empresillado metálicos tienen la ventaja frente a los anteriores de no requerir de una mano de obra tan especializada como esta última y ser más económicos. Como inconvenientes los conocidos para todos los elementos metálicos, la corrosión.

Idealmente estos refuerzos deberían realizarse siempre mediante perfiles pre-galvanizados en caliente. Puesto que son refuerzos realizados «in situ» no podemos galvanizarlos de forma íntegra por lo que los cortes, perforaciones, soldaduras, etc… realizados en obra, deberemos protegerlos según los sistemas de protección de pintura líquida, añadiendo la precaución de que se están pintando elementos galvanizados por lo que se deberá conseguir previamente los perfiles de rugosidad adecuados para garantizar la adherencia mecánica y mediante productos que garanticen la adherencia química.

Así mismos estas pinturas deberán ser ricas en zinc para actuar como protección catódica de ánodo de sacrificio al igual que el propio galvanizado. La normativa actual al respecto tan solo regula sistemas de este tipo de pinturas para una vida útil como máximo superior a 15 años. No obstante, la mayoría de sistemas de protección mediante galvanizado están muy por encima de este periodo a igualdad de agresividad ambiental.

La conclusión de todo ello es que la parte galvanizada del sistema de refuerzo tendrá una vida útil muy superior a las soldaduras que los mantienen unidos. Esto nos obliga a realizar los revestimientos de protección con pintura líquida en estos puntos a ser posible con espesores de película seca muy elevados (superiores a ser posible a 200 µm) para conseguir una protección del refuerzo lo más homogénea posible. Y a establecer un calendario de inspección y mantenimiento para garantizar su durabilidad en el tiempo. A la hora de realizar las correspondientes soldaduras en este tipo de perfiles se deberán desbastar previamente las partes a soldar para garantizar una soldadura óptima.

El empresillado consiste básicamente en la colocación de un angular de la sección de cálculo dada en cada vértice de la sección del pilar abrazando a estos y unidos mediante platabandas en las cuatro caras del pilar separadas periódicamente según la distancia de cálculo exigida. Estos empresillados deben de ser continuos en toda la altura del pilar por lo que deben atravesar forjados en caso de pilares y en las vigas deben de unirse a los empresillados de los pilares (o en caso de empresillado de viga asilada abrazarse a los pilares sobre los que apoya).

El encamisado con hormigón armado del elemento consiste en la cubrición completa del elemento estructural y es utilizado tan solo para casos muy extremos de deterioro y de estabilidad estructural comprometida.

Para garantizar la puesta en carga del refuerzo ante la más mínima solicitación adicional del pilar, este debe de retacarse con mortero estructural sin retracción en toda la interfase entre el empresillado y la superficie del pilar/viga una vez recompuesto este último.

II. Unidad didáctica 6B

Sintomatología, diagnosis e intervención en estructuras metálicas

0. Síntomas en estructuras metálicas

Los daños por corrosión del acero se evidencian por la presencia de óxidos y exfoliaciones en las zonas húmedas de los edificios (baños, cocinas, proximidades de las bajantes, etc.), puesto que la corrosión es un fenómeno electroquímico que requiere la presencia de humedad y oxígeno para su proceso. Como consecuencia, disminuye la sección resistente de acero. Su cuantificación se realizará mediante las medidas de pérdida de espesor o de peso en los puntos que se designen.

Las causas de fenómenos de exfoliación de perfiles metálicos por corrosión están en el ambiente húmedo debido al contacto con las bajantes de la red vertical de saneamiento del edificio afectadas por fugas de agua, y por la ausencia de protección de la estructura frente a la corrosión.

En los ambientes marinos, los elementos metálicos que carecen de la protección conveniente frente al ambiente agresivo, manifiestan generalmente, los síntomas indicados del proceso de corrosión que padecen. Como anteriormente se ha señalado, el proceso es un fenómeno electroquímico al formarse una pila galvánica entre el acero y el entorno en un ambiente cargado de electrolitos (humedad y oxigeno).

Las estructuras metálicas avisan mediante la manifestación de grandes deformaciones antes de producirse el fallo definitivo, El material es más homogéneo y la posibilidad de fallos humanos es mucho más reducida que en estructuras construidas con otros materia les.

Las estructuras metálicas no padecen fenómenos reológicos que, salvo las deformaciones térmicas, hayan de ser tenidos en cuenta. Conservan indefinidamente sus excelentes propiedades en las condiciones de conservación adecuadas.

- En los soportes, los desplazamientos localizados a media altura pueden ser síntoma de que las piezas han alcanzado la carga crítica de pandeo. También la pérdida del plano vertical del alma en una viga.

- En las uniones soldadas los defectos que pueden presentar las soldaduras son de carácter interno tales como falta de penetración, grietas, inclusiones gaseosas o de escoria, poros y superficiales tales como mordeduras, desbordamientos, picaduras y cráteres.
- En las uniones roblonadas se emplea el ensayo «acústico», que consiste en golpear la cabeza del roblón con un pequeño martillo de bola, para detectar defectos de ajuste.
- En las uniones atornilladas para detectar el correcto apriete de sus tornillos, en caso de considerarse necesario, se comprueba con llave dinamométrica que mide el esfuerzo de torsión aplicado a la tuerca.

1. Tipos de Corrosión y su Diagnosis

1.1. *Tipos de corrosión*

Oxidación
Par galvánico
Aireación diferencial
Intergranular
Inmersión

Tabla 1.1. *Agentes corrosivos y efectos en estructuras metálicas.*

Agentes corrosivos			**Efectos**	
Origen	Lugar donde se da	Tipo	Metales	Descripción
Cemento Portland	Productos basados en cementos: morteros, pastas y hormigones	Hidróxido sódico y potásico	ALUMINIO	Generalmente malos, dependiendo el grado de ataque de la aleación. Esencial la protección para condiciones de humedad.
			PLOMO ZINC	Malos. Esencial la protección para condiciones de humedad.
Cementos aluminosos	Productos fabricados con estos cementos	Álcalis	ALUMINIO PLOMO ZINC	Generalmente malos, menos que con los Portland ya que son menos alcalinos.
Calcio y magnesio libres	Morteros y pastas		ALUMINIO PLOMO ZINC	Muy malos. Esencial la protección contra la humedad. Efectos más ligeros que los descritos anteriormente.
Sales aceleradoras	Pastas de yeso	Reacción ácida	Todos los metales no protegidos	Corrosión antes del secado: que no debe preocupar una vez la pasta se ha secado y no se den condiciones de humedad.
	Hormigón	Cloruro cálcico	ACEROS suaves o dulces	El cloruro cálcico no puede exceder el 2 % del peso del cemento y debe ser bien distribuido.

«Smoke» y humo de chimeneas	Chimeneas	Dióxido de sulfuro	ALUMINIO COBRE ZINC	Ataque rápido si hay fuerte exposición.
Combustión de carbón, fueles, salpicaduras agua de mar	Atmósfera, Agua de lluvia	Dióxido de sulfuro, de carbono, sulfatos y cloruros	ALUMINIO ACERO	Resistencia a la corrosión relativamente alta. A veces no progresa y adquiere valores bajos. En determinadas aleaciones puede ser continua y seria.
			ZINC	La película formada no es suficientemente dura y adherente para evitar un ataque constante aunque lento.
			HIERRO Y ACERO	La corrosión es estimulada considerablemente. Es esencial una protección.
Agua de mar	Estructura sumergida y conducciones	Cloruros	HIERRO ACERO	La velocidad de corrosión aumenta con relación al agua dulce.

Tabla según: Monjó Carrión, Juan J. 2010.

Tabla 1.1. (Cont). *Agentes corrosivos y efectos en estructuras metálicas.*

Agentes corrosivos			**Efectos**	
Origen	Lugar donde se da	Tipo	Metales	Descripción
	Conducciones y tubos de agua	Cloruros, sulfatos y dióxidos de carbono	HIERRO ACERO	El carácter ácido puede influir en la corrosión y evitar la formación de la capa protectora.
			ALUMINIO	No es recomendable para aguas ordinarias, excelente para aguas especialmente tratadas para la utilización en la industria.
			COBRE	Corrosión apreciable en aguas no duras. Aparecen manchas verdes en las instalaciones y conducciones.
			PLOMO	Ataque de aguas no duras suficiente para provocar intoxicaciones.
Madera	Elementos de madera	Ácidos orgánicos y sales solubles	ALUMINIO COBRE PLOMO ZINC	Corrosión improbable, si la madera está seca o el metal es buen aliado de ella. Las llaves de Al son fuertemente atacadas si están expuestas a la lluvia, no si se protegen de ella. El zinc de los canalones en contacto con tejas o tejados es destruido muy deprisa. El Al pintado puede ser utilizado con seguridad sobre la madera.

Sulfatos	Productos de limpieza, sobre paredes de ladrillo	Sales solubles de calcio, potasio y magnesio	ZINC	Puede ser atacado en parte por las sales y en parte los álcalis de mortero.
Algas, hongos y líquenes	Pendientes de cubiertas	Ácidos orgánicos y dióxido de carbono	ALUMINIO COBRE PLOMO ZINC	Ataque allí donde el agua de lluvia golpee sobre el metal.
Agentes espumantes (no todos)	Cementos porosos utilizados para los aislamientos	Pequeñas cantidades de amoniaco	COBRE	Resultando atacado el cobre si contiene pequeñas cantidades de fósforo.
Cenizas y escorias	Escorias y bases de pavimentos	Materiales solubles y carbón mal quemado	HIERRO ACERO	Fuerte corrosión probable.

Tabla según: Monjó Carrión, Juan J. 2010.

1.2. *Diagnosis de la corrosión*

Para un correcto estudio del proceso patológico deberemos dar los siguientes pasos (tablas 3 y 4).

a) Identificar el tipo, o tipos, de corrosión con los que nos enfrentamos.

b) De existir par galvánico, conocer y analizar los elementos que han constituido la pila electroquímica.

c) De existir indicios de corrosión intergranular, analizar la estructura cristalina de la aleación en cuestión.

d) Si existe aireación diferencial o inmersión, analizar el detalle constructivo donde se ha producido la corrosión.

e) Conocer el nivel de avance de la corrosión con objeto de calibrar la posibilidad de recuperación del elemento metálico.

Una vez dados estos pasos, se puede establecer un diagnóstico que incluya el proceso patológico en cuestión. Con él podemos proceder a las operaciones de reparación.

1.3. *Reparación de la corrosión*

1.3.1. Corrosión por oxidación

Comoquiera que el origen del proceso de corrosión está en la oxidación superficial del elemento, la causa primera la constituye la falta de protección superficial del metal, pues el metal en estado puro tiende a volver a sus orígenes en forma de óxido, reaccionando con el oxígeno del aire. Así, pues, en este caso, la reparación podrá ser conjunta de todo el proceso patológico, abarcando tanto la causa como el efecto, y consistirá en una limpieza profunda de la superficie del elemento metálico y su nueva imprimación antioxidante. Veamos los procedimientos adecuados y más corrientes teniendo en cuenta que la química de la construcción va evolucionando por días, por lo que continuamente están apareciendo nuevos procedimientos que pueden convertir en obsoletos los aquí presentados.

1.3.1.1. Sistemas de limpieza

Cuando se comprueba que el elemento afectado es recuperable debido al ligero avance de la lesión, se debe proceder a una limpieza lo más profunda (teóricamente no debe quedar ningún resto de óxido del metal y dejar éste en estado puro). Dicha limpieza, o decapado, puede hacerse por procedimientos mecánicos o químicos.

1.3.1.2. Procedimientos

Los procedimientos mecánicos más corrientes son dos el cepillado y el chorreado.

El cepillado se lleva a cabo con cepillos metálicos y no deja de ser un sistema manual con un alcance relativo, sobre todo cuando la capa de óxido es dura y la geometría del elemento es complicada, por lo que se debe ceñir a casos sencillos con profundidades de corrosión relativamente pequeñas.

El chorreado tiene, evidentemente, mayor energía de abrasión, por lo que es más recomendable para grandes superficies, capas de corrosión más importantes y geometrías más complicadas. Normalmente se trata de proyección de arena silícea, aunque puede optarse por otro tipo de 'proyectil', como viruta de acero, granalla de plomo, etc., aunque estos chorreados metálicos pueden provocar otros problemas colaterales en el propio metal.

Los decapados químicos consisten en la aplicación superficial, por brocha o aerosol, de algún producto químico que descomponga el óxido metálico y lo convierta en una capa porosa fácil de eliminar por cepillado o simple rascado

Dichos productos son muy variados, en función del óxido de que se trate, y suelen estar sometidos al secreto comercial. Sin embargo, son fácilmente obtenibles en el

mercado. El proceso se completa con un buen cepillado o, incluso, con un chorro de arena para asegurar la limpieza del elemento.

1.3.1.3. Sistemas de protección

La Instrucción EAE en sus artículos 30 y 79 especifica los tratamientos y sistemas de protección para las estructuras metálicas. Los sistemas son muy variados y se encuentran en continua evolución, por lo que será suficiente con indicar los tipos generales más comunes. Así, deberemos distinguir entre la protección de un elemento ya colocado y una vez limpio, y la de un elemento desmontable y cuya protección puede realizarse en taller y, por tanto, en otras condiciones.

A) Protección «in situ»

La protección deberá ser a base de productos líquidos aplicados con brocha o pistola. Podemos distinguir entre las protecciones no metálicas y las metálicas.

a) Las protecciones no metálicas constituyen una capa química resistente a la oxidación, lo cual incluye productos que podríamos denominar inhibidores de la corrosión. En este caso, están las protecciones más comunes a base de minio de plomo, cromato de zinc, etc.

b) Las protecciones metálicas aplicadas «in situ», lo tienen que ser «en frío» y son más modernas y algo más costosas por la dificultad que supone el mantenimiento de metales en estado fluido y su adherencia. Los más corrientes son los productos derivados de los metales de bajo punto de fusión, tales como plomo, estaño, cadmio y zinc.

En cualquier caso, hay que tener en cuenta el potencial electroquímico del metal y de la protección para cada caso, ya que una protección de potencial más negativo que el metal protegido, funciona como ánodo, por lo que, normalmente, la actuación protectora será correcta (pues el metal protegido permanece como cátodo y no se corroe). Por el contrario, una protección más positiva que el metal a proteger puede hacer que este se convierta en el ánodo de un par galvánico y el resultado será su corrosión.

B) Protección en taller

Siempre que el elemento sea desmontable, su protección puede hacerse en taller, lo que resultará más completo.

a) Por inmersión del elemento en una cuba que contiene el metal de recubrimiento fundido. Si los dos metales son susceptibles de aleación, la adherencia

resultará mejorada. La inmersión puede realizarse también en una solución de una sal de un metal más noble que va a actuar de protección y que se deposita en la superficie.

b) Por metalización, a base de proyectar sobre el elemento a proteger un chorro de gotitas del metal de protección fundido. Según el tipo de proyección, este procedimiento se denomina cementación.

c) Por tratamientos químicos.

- Fosfatación, aplicado sobre todo al acero, en el que su superficie se transforma en fosfatos complejos, estables e insolubles, sin alterar el espesor de la pieza ni sus propiedades físicas.
- Protalización, utilizado, sobre todo, en el aluminio y el zinc.

1.3.1.4. Acabado

Las protecciones indicadas hasta aquí tienen el objeto de impedir o dificultar la oxidación y la posible corrosión del elemento metálico, pero su aspecto final no suele satisfacer las exigencias de acabado normales. Por una parte, su textura no suele ser pulida, sino más bien porosa y rugosa, excepto en casos especiales (cromado, anodizado). Por otra, su colorido es escaso y no demasiado atractivo. Por ello, cuando el elemento metálico debe quedar visto, se procede a la aplicación de una pintura de acabado, que es la que debe reponerse con periodicidad (mantenimiento) y que, en cualquier caso, colabora también a la protección de la pieza.

Este tipo de pinturas deben ser «elásticas» (esmaltes y lacas) y resistentes a la intemperie, lo que obligará a seleccionarlas en función de su situación climática y de la contaminación de la zona, así como a especificar su espesor, lo que dependerá del fabricante. En general, se considera que 120 micras son suficientes, lo que implica una aplicación en, por lo menos, dos capas o «manos».

El sistema que más garantías ofrece a una relación calidad/precio aceptable es el sistema Dúplex regulado conforme a la norma UNE-EN ISO 13438:2007: Pinturas y Barnices. El sistema consiste en la aplicación de un primer galvanizado en caliente por proceso discontinuo de cada una de las piezas para aplicarle posteriormente un tratamiento de adherencia consistente en un desengrasado y un fosfatado amorfo, para finalmente revestirlo mediante un acabado superficial de pintura en polvo de aplicación al horno.

«Sistema Dúplex» es un término adoptado por J.F.H. Van Eijnsbergen, experto holandés en corrosión, a comienzos de los años 50. El término describe la protección del acero por un revestimiento de cinc que a su vez está cubierto por un revestimiento no metálico. El propósito es conferir una resistencia adicional contra la corrosión cuando se necesita, o cuando se requiere conseguir un aspecto atractivo.

La duración que proporcionan los sistemas dúplex es normalmente mucho más prolongada que la que podría calcularse por la suma de las duraciones previ-

sibles de cada sistema por separado. Se puede decir que se produce un efecto sinérgico, que en forma matemática podríamos expresar mediante la siguiente fórmula:

$D_T = K (D_{zn} + D_p)$, donde

> D_T = Duración total del sistema dúplex.
> D_{zn} = Duración del recubrimiento de galvanizado.
> D_p = Duración de la pintura.
> K = Un constante (1'3<k<1'6 en agua salada, 1'8<k<2'0 en clima bastante agresivo, 2'0<k<2'7 en clima no agresivo)

La norma UNE-EN ISO 1460:1996 Recubrimientos metálicos, recubrimientos de galvanización en caliente sobre metales ferrosos. Determinación de la masa por unidad de superficie y UNE-EN ISO 1461:2010 Recubrimientos de galvanización en caliente sobre piezas de hierro y acero, especificaciones y métodos de ensayo, regula los recubrimientos mínimos que se pueden conseguir en determinadas piezas metálicas según su espesor (que van desde 45 μm en espesores inferiores a 1'5mm hasta más de 200 μm en espesores superiores a 6mm) así como las directrices en materia de fabricación.

Mediante la norma UNE-EN ISO 14713-1:2011 / 14713-2:2011 / 14713-3:2017: Directrices y recomendaciones para la protección frente a la corrosión de las estructuras de hierro y acero. Recubrimientos de cinc, podemos obtener la categoría de corrosividad del ambiente (C1, C2, C3, C4 y C5) y con ello conocer la velocidad de corrosión del Zinc en μm/año (desde <0'1 μm/año en ambientes interiores secos hasta 8 μm/año en ambientes exteriores industriales muy húmedos o costeros de elevada salinidad) para poder proyectar el espesor del conjunto según la vida útil exigida. A efectos del cómputo del espesor de película seca se contempla cada una de las tres capas que se crean en el proceso.

1.3.2. Corrosión por par galvánico

La causa fundamental es la formación de una pila por el contacto entre dos metales, o un metal y otro material, de distinto potencial eléctrico con la ayuda de un electrolito. Habrá que tratar, pues, de eliminar ese contacto.

1.3.2.1. Sustitución

Como medida general, siempre que sea posible, hay que sustituir la pieza corroída por otra de un metal que no provoque par galvánico y, por tanto, tenga un potencial electroquímico más parecido al de la pieza que permanece. En cualquier caso, y como medida de prevención, trataremos de interponer una barrera aislante entre los dos para evitar el contacto del electrolito.

Serán casos aplicables aquellos en que un elemento o pieza de sujeción haya provocado par con una pieza de soporte. En todos ellos, habrá que eliminar la pieza de sujeción y sustituirla por otra del mismo material que el elemento sujetado o, además, introducir una barrera de P.V.C. o neopreno (barrera 'anti par galvánico') entre ellos. Asimismo, en la nueva colocación, habrá que tratar de evitar la acumulación de agua (rincones, juntas, etc.) para dificultar la aparición del necesario electrolito, mediante el diseño adecuado y sellantes.

1.3.2.2. Recuperación

Si la pieza afectada por la corrosión es todavía recuperable, y en los casos en que el par galvánico aparezca entre un metal y un material no metálico, se aplicará un tratamiento de limpieza del elemento en cuestión, seguido de una protección del mismo, antes de volverlo a colocar.

Así tendremos casos de piezas sujetas por abrazaderas donde la corrosión es poco avanzada, o elementos empotrados en fachadas pétreas donde han sufrido corrosión por par galvánico con los álcalis del cemento, etc.

1.3.3. Corrosión por aireación diferencial

Al ser la causa la acumulación diferencial de agua en las superficies horizontales, se tratará de eliminar esa posibilidad; para ello podemos distinguir dos zonas claves:

1.3.3.1. Plano horizontal

En las zonas intermedias de los elementos lo más directo será aumentar la inclinación de la superficie, lo que no siempre será posible.

El alféizar de ventana habrá que desmontarlo y volverlo a colocar con la inclinación adecuada, lo mismo habrá que hacer en albardillas de chapa. En los pasamanos, sin embargo, no habrá más remedio que suplementar con una nueva pieza con curvatura en caballete, o basarnos exclusivamente en la protección antioxidante. Esta, en cualquier caso, será de aplicación si queremos (y podemos) recuperar el elemento, previa su limpieza, tal como quedó indicado en la corrosión por oxidación. De lo contrario, no quedará más solución que la sustitución del elemento afectado por otro que cumpla las previsiones.

1.3.3.2. Rincones

Si es posible, hay que tratar de eliminarlos, para lo cual podemos proponer dos métodos distintos, según su situación:

- En empotramientos a muros pétreos, tanto en horizontal como en vertical, podremos interponer un escudo que, además de actuar de tapajuntas, cambia el diedro de 90º por otros dos ángulos más obtusos y, por tanto, de menor acumulación de agua y suciedad.
- En encuentros intermedios, en general, posibilidad de anular los ángulos más agudos mediante masillas y elastómeros, lo cual no siempre tiene un resultado aceptable desde el punto de vista estético.

Lo que sí es posible, y siempre recomendable, es el procedimiento descrito de limpieza profunda y protección posterior que, sobre todo en rincones, hay que intensificar y, si cabe, aumentar el espesor de la protección.

1.3.4. Corrosión intergranular

Podemos considerar que existe una causa indirecta, cual es la deficiente aleación, y una directa, la penetración de humedad entre gránulos que actúa de electrolito acelerando la aparición de los micropares galvánicos.

Sobre la primera, sólo podemos actuar sustituyendo el elemento. Sobre la segunda, sin embargo, sí podemos proponer actuaciones correctivas, encaminadas a evitar dicha presencia de humedad. Así, por un lado, procederemos a revisar la fuente de dicha humedad y evitarla. Puede tratarse de goteras y concentraciones de agua innecesarias, o de lesiones de humedad de los tipos estudiados. Por otro, podemos tratar de sellar el elemento en cuestión para evitar la penetración de agua. En realidad, el sellado es una protección de las analizadas, que requiere la limpieza previa y la pintura de acabado final.

1.3.5. Corrosión por inmersión

El contacto permanente del agua con el metal se tratará de evitar por el ya comentado procedimiento de la protección, aunque aquí tenemos que establecer ciertos matices.

En primer lugar, como siempre, ver si la pieza es recuperable, lo que suele ser muy difícil en este tipo de corrosión, ya que al estar oculta la parte de la pieza que sufre la lesión (enterrada, empotrada, jardineras, etc.) no nos damos cuenta de ella hasta que la corrosión es muy avanzada y, por tanto, el elemento ha perdido su integridad.

Si es recuperable, la protección a aplicar tiene que ser del tipo impermeable, por lo que recurriremos a los productos bituminosos o a los cauchos sintéticos. Por último, hay que estudiar la posibilidad de que, una vez repuesta la pieza, no le llegue el agua a la parte oculta (normalmente, piezas empotradas) para lo que recurriremos a los sellados y los tapajuntas.

1.4. *Prevención de la corrosión*

1.4.1. Protecciones antioxidantes y anticorrosivas

Será la primera medida preventiva a tener en cuenta, y aunque su materialización se lleva a cabo durante su ejecución, sin embargo su descripción debe estar contenida en los documentos escritos del proyecto (memoria y pliego de condiciones técnicas).

1.4.1.1. Limpieza previa

Antes de aplicar cualquier protección, hay que asegurar la limpieza del elemento metálico, de lo contrario tendríamos un doble peligro. Por un lado, la posible falta de adherencia de la protección y, por tanto, el probable desprendimiento de esta nueva capa. Por otro, la permanencia de un posible foco de nuevas alteraciones superficiales conducentes, en definitiva, a la corrosión.

Los procesos mencionados pueden resumirse en:

— Limpieza mecánica.
 • cepillado
 • chorreado
  Arena
  Metralla

— Decapado químico*.

*Comoquiera que partimos de una pieza teóricamente nueva, lo normal es utilizar la limpieza mecánica.

1.4.1.2 Protección

De modo similar a como hacíamos en el apartado de reparación, debemos distinguir varios sistemas que agrupamos en dos tipos de técnicas:

A) Protección aplicada directamente, empleando medios básicamente manuales (brocha, pistola. etc.) basadas en la adherencia mecánica o química entre el metal y el protector. Así distinguíamos entre:

- Protecciones no metálicas u orgánicas, a base de aceites, betunes, cauchos, etc., que protegen o impermeabilizan.
- Protecciones metálicas, a base de metales fundidos o combinaciones de ellos aplicados en frío.

B) Protección aplicada por medios especiales. Incluimos en este apartado todo el conjunto de protecciones por procedimientos especiales, ya mencionados, tales como:

- por inmersión
- por electrodepositación
- por metalización
- por cementación
- por tratamientos químicos (fosfatación, protalización).

Como tratamientos de prevención, no utilizables en reparaciones, podemos añadir:

a) Por laminación conjunta del metal base y del metal protector, cuando el elemento metálico en cuestión puede obtenerse por laminación (perfiles. tubos. etc.). Es una operación que se suele realizar en caliente y la adherencia entre ambos suele ser prácticamente perfecta.

b) Por anodizado, empleado en los elementos de aluminio, que consiste en la formación de una capa superficial de aluminio más resistente y pulido, por diversos procedimientos, normalmente electroquímicos. En cualquier caso, suele necesitar un posterior sellado con resinas para eliminar al máximo su porosidad.

1.4.2. Protección de plataformas horizontales

A parte de la corrosión por oxidación, puede aparecer la debida a aireación diferenciada.

La primera, la combatimos con las protecciones mencionad as en el punto anterior. Para anular la segunda, debemos evitar que se pueda acumular el agua por puntos. Para ello tomaremos las siguientes medidas:

a) Evitar el goteo directo sobre la plataforma.

b) Darle la máxima inclinación posible, bien inclinando todo el plano (alféizares. albardillas, etc.) bien dándole curvatura transversal (barandillas, barrotes, etc.) o utilizando perfiles que tengan dicha curvatura (tubulares o semitubulares).

c) Evitar uniones de elementos horizontales que provoquen hendiduras o el uso de chapas y piezas con textura superficial que facilite la acumulación de agua y suciedad, a menos que se evite con su gran inclinación (escalones y plataformas de chapa estriada).

d) Proteger los elementos de horizontalidad inevitable mediante albardillas con la correcta inclinación.

1.4.3. Protección de ángulos y rincones

De nuevo tenemos que luchar contra la aireación diferencial de estos puntos, por acumulación de agua y suciedad en ellos. Podemos distinguir tres soluciones tipo, dos de ellas ya mencionadas en la reparación, ya que en el fondo la solución es la misma, aunque en este caso tiene que venir prevista desde proyecto:

- Anulación, en lo posible, de rincones en el diseño de piezas metálicas, sobre todo en cerrajerías. Ello muchas veces implica la simplificación en el diseño formal, lo que no siempre es aceptable, pero otras se puede conseguir con la disposición adecuada de las distintas piezas. Así, por ejemplo, según indica la figura, si separamos las piezas lo suficiente como para no acumular polvo y suciedad entre ellas, eliminamos parte de los focos de corrosión.
- Relleno de rincones y hendiduras con másticos y sellantes.
- Diseño y colocación de escudos u otras piezas que conviertan un ángulo recto o agudo en dos ángulos obtusos donde es más difícil la acumulación de agua.

1.4.4. Protección de empotramientos

Según vimos en reparación, se trata de combatir especialmente dos tipos de corrosión. La de aireación diferencial y la de inmersión, para lo cual ya quedaron mencionados los procedimientos adecuados, a saber:

- Escudo protector que actúa, además, de tapajuntas.
- Sellado de la unión con elastómeros.
- Protección previa de la parte de la pieza empotrada.

Cabe mencionar aquí el erróneo concepto que se tiene con respecto al mortero de cemento, en el sentido de suponer que una pieza de acero rodeada de mortero o de hormigón no necesita otro tipo de protección previa. Ello puede ser válido para las armaduras que permanecen dentro del hormigón y que, por tanto, al no tener con tacto con el exterior no se pueden oxidar ni corroer, aunque ya sabemos que, a veces, son alcanzadas por el oxígeno del aire o atacadas por los propios álcalis. Sin embargo, nunca debe considerarse así para aquellas piezas que tienen parte en el interior y parte en el exterior, ya que resulta inevitable que se abra la junta constructiva entre metal y mortero por diferencia en sus coeficientes de dilatación. Como consecuencia, el agua puede ir penetrando hasta empapar toda la pieza.

Por otra parte, la inevitable porosidad del mortero facilita también la entrada de humedad hasta una determinada zona. De ahí la necesidad de proteger contra la oxidación todas aquellas piezas que vayan a ir empotradas.

Dicha protección, por último, nos ayudará a combatir la posibilidad de pares galvánicos entre metal y álcalis del cemento.

1.4.5. Protección de uniones entre distintos metales

Se trata aquí de combatir la aparición de pares galvánicos entre metales de distinto potencial electroquímico. La solución pasará siempre por eludir, en lo posible, dichas uniones, empleando tornillos y abrazaderas del mismo metal. No obstante, si ello no es posible, se procurará introducir algún material aislante entre los distintos metales, cuando no haya más remedio que colocarlos. Dicho material suele ser de láminas plásticas poco conductoras, o de uniones puntuales de las mismas propiedades (lo que los fontaneros llaman «manguito anti par galvánico»). Aunque de dudosa efectividad, algunos autores sugieren diversos órdenes de colocación de los distintos metales en fachada, con la idea de que el agua, al discurrir verticalmente, no facilite la transmisión de los electrones. En este sentido, cabe mencionar la propuesta de F. Eichler, que dispone los distintos metales en el siguiente orden, desde arriba hacia abajo: magnesio - aluminio - manganeso - zinc - cromo - hierro - cadmio - níquel - estaño - plomo - cobre.

2. Refuerzo y rehabilitación de estructuras metálicas

2.1. *Refuerzo de estructuras metálicas*

2.1.1. Causas del Refuerzo

El proyecto de un refuerzo viene determinado, en síntesis, por una de estas dos causas:

2.1.1.1. Aumento de los valores de las cargas

Las cargas a las que puede estar sometida la estructura debido a:

— Variación en el Uso de la Construcción, como es:

- Rehabilitación de un edificio de viviendas para su utilización como oficinas en toda o en parte.
- Por circunstancias no previsibles en la fase de proyecto como es el caso de decidir destinar zonas de edificios a archivos o a almacenamiento así como la instalación de nuevos ascensores o máquinas pesadas.

— Aumento de los valores de las sobrecargas de uso con el paso del tiempo.

2.1.1.2. Disminución de la resistencia

La disminución de la resistencia de la estructura se puede dar por:

— Degradación de la estructura con el paso de los años.
— Existencia de defectos de proyecto o de construcción.
— Accidentes.

2.1.2. Tipología de Refuerzos

La manera de proyectar el refuerzo será siguiendo uno de los siguientes caminos, aumentar las dimensiones resistentes de la pieza en cuestión o/y disminuir la magnitud de los esfuerzos que la solicitan. Para ello, en función de los cálculos estructurales pertinentes se deberá:

- Aumentar el área de la sección y, por consiguiente, las demás características geométricas (I,W,i, etc.).
- Disminuir la luz de la pieza, y la magnitud de las solicitaciones. Esta no siempre es cierta ya que, en el caso del esfuerzo axil de tracción, la luz no influye en absoluto, mientras que, en el caso del esfuerzo cortante producido por una carga puntual, la disminución de la luz produce, incluso, un aumento del mismo.

En general, el procedimiento más recomendable para el refuerzo es el de disminuir la luz de los elementos pero, desgraciadamente, es aplicable en muy contadas ocasiones porque normalmente en el proyecto de ejecución se adoptan las luces más pequeñas posibles dentro de que sean compatibles con la funcionalidad prevista para la construcción.

A continuación pasaremos revista a los diferentes tipos de refuerzo, con una breve descripción de sus particularidades.

- Disminución de la magnitud de las solicitaciones.
- Refuerzo de secciones.
- Variación del diseño arquitectónico y estructural.

2.1.2.1. Disminución de la magnitud de las solicitaciones

Este tipo de operaciones no presentan ningún problema especial, ya que se realiza independientemente de la estructura a reforzar por lo que el proceso es similar al del montaje de una estructura de nueva planta. Es obvio que este procedimiento puede aplicarse a estructuras de cualquier material resistente.

La misma filosofía de refuerzo se aplica al establecer la continuidad de una serie de vigas simplemente apoyadas en línea. Las vigas de acero se adaptan muy bien

a este tipo de refuerzo puesto que tiene la misma resistencia a tracción y a compresión.

2.1.2.2. Refuerzo de secciones

Con el fin de hacer la exposición más clara se estudian el refuerzo de secciones en dos tipos de elementos típicos de una estructura de edificios: las vigas y los soportes.

Las vigas son elementos solicitados predominantemente a momento flector y a esfuerzo cortante y los soportes son elementos solicitados predominantemente a esfuerzo axil, con lo que, exceptuando el momento torsor, que en la práctica se produce en contadas ocasiones, se contemplan todos los tipos de esfuerzo. De esta forma todo lo que viene a continuación es aplicable a cualquier elemento estructural, siendo la forma de refuerzo función del tipo de solicitación a la que esté sometido.

2.1.2.2.1. Refuerzo de las vigas metálicas

En las vigas metálicas existen dos elementos claramente diferenciados con una misión resistente específica: las alas, que resisten predominantemente el momento flector, y las almas, que resisten predominantemente el esfuerzo cortante.

En caso de refuerzo, y dependiendo de la importancia del incremento de uno u otro esfuerzo, será preciso aumentar la sección de las alas, la de las almas, o ambas.

Como el refuerzo de uno u otro elemento presen tan problemas diferentes se estudian a continuación, por separado.

A) Refuerzo de las alas.

El método de refuerzo más eficaz es la colocación, en las cabezas, de platabandas en una longitud suficiente. Esta longitud será la teórica ‘’l” mas una longitud, a cada lado, del orden de la anchura de la chapa, cuya misión es de anclaje.

En el caso de que por encima de las vigas existan otros elementos como forjados, cubiertas, correas, etc., este procedimiento no es aplicable de forma económica por lo que habrá que reducir a colocar el refuerzo por debajo del ala superior. Si el aumento de carga es pequeño, o sólo se necesita el refuerzo por razones de deformabilidad puede ser suficiente colocar sólo la platabanda inferior.

En el caso de que el acero no sea soldable los métodos son semejantes con la diferencia de que el refuerzo se solidarizará a la pieza mediante tornillos, lo que en algunos casos complica el refuerzo de la cabeza superior. Otra posibilidad de

refuerzo de piezas de este tipo es la sustitución de algún elemento de la sección por otro de mayor área, siempre que la sección restante sea capaz de resistir las cargas existentes en el momento de efectuar esta operación o se haya apeado previamente la viga.

Otro método de refuerzo es colocar sobre la viga una cabeza de compresión de hormigón, con sus conectores correspondientes convirtiéndola en viga mixta. En el caso de vigas de edificios, sobre las que se apoya el forjado, se puede realizar esta operación con relativa facilidad, eliminando las bovedillas, colocando los conectores entre las viguetas de forjado y hormigonando el conjunto. El espesor del forjado será el espesor de la cabeza de hormigón.

B) Refuerzo de almas.

El medio más común de reforzar las almas a esfuerzo cortante es el de adosar chapas del espesor necesario. Lo ideal es disponer dos chapas, a cada lado del alma de forma que se siga conservando el plano de simetría pero, salvo en los casos especiales, es más cómodo colocar una sola chapa de espesor doble porque, de esta forma, sólo hay que acceder a la viga por un solo lado, lo que puede ser fundamental en muchos casos y, además, se reduce a la mitad la longitud de los cordones de soldadura.

En el caso de que el material no sea soldable es preciso que las dos caras del alma sean accesibles, al menos para introducir los tornillos, por lo que ya no hay ningún motivo para preferir el refuerzo con una sola chapa, a menos que una de las caras sea poco accesible y lo lógico será colocar dos, una a cada lado del alma (figura 2.7). Como conclusión, es evidente que también se puede reforzar simultáneamente las alas y el alma siguiendo los métodos citados en los párrafos anteriores.

2.1.2.2.2. Refuerzo de soportes metálicos

El procedimiento de refuerzo más normal es el de adosar chapas o perfiles. La posición de refuerzo dependerá de la forma de la sección transversal y, sobre todo, de la posición de las vigas.

En el caso de que las vigas que se apoyan en el soporte estén colocadas en una sola dirección, lo indicado será colocar los refuerzos en las caras paralelas a esa dirección. En el caso de que haya vigas en las dos direcciones habrá que recurrir a colocar el refuerzo en las zonas que no interfieran con las vigas y, si esta es posible, será preciso dar continuidad al refuerzo a su paso por la viga por medio de métodos más o menos complicados.

En el caso de que exista una gran diferencia en la esbeltez de la pieza respecto a su dos planos principales, el refuerzo es mucho más eficaz, colocándolo de forma que se reduzca la esbeltez máxima, reduciendo el radio de giro.

2.1.2.2.3. Refuerzo de uniones roblonadas y atornilladas

En el caso de uniones con roblones o tomillos ordinarios el método de refuerzo más sencillo es el sustituirlos por tomillos de alta resistencia del mismo diámetro. Este método es aplicable siempre que el aumento de la carga pueda ser absorbida, tanto por los tomillos de alta resistencia como por el material base.

Si la unión es con tornillos de alta resistencia o el aumento de la carga es superior a la admisible por el método anterior, puede efectuarse el refuerzo colocando un diámetro de tornillo mayor, aumentando el diámetro del agujero, o aumentando el número de tornillos.

2.1.2.2.4. Retuerzo de uniones soldadas

En el caso de cordones de soldadura de ángulo, los métodos de refuerzo habituales son el aumento de la longitud del cordón y el del espesor de garganta, respetando las limitaciones que se fijan en las normas.

En los cordones de soldadura a tope de penetración total no tiene objeto el refuerzo porque el problema es el de la incapacidad de la propia pieza en donde está situado el cordón.

En algún caso podría ser ventajoso efectuar el refuerzo mediante tornillos de alta resistencia con las ventajas que reporta el no tener que llevar los aparatos necesarios para la soldadura.

2.1.2.2.5. Refuerzo de celosías

La celosía es un tipo estructural donde sus elementos están fundamentalmente solicitados por esfuerzos axiles. Quiere ello decir que es aplicable todo lo expuesto anteriormente: los elementos traccionados se reforzarán con aumento de sección mientras que los elementos comprimidos, además de con aumento de sección, se puede reforzar disminuyendo sus luces de pandeo arriostrándolos convenientemente.

Por último, si se necesitan los refuerzos anteriores es evidente que habrá que reforzar las uniones siguiendo la misma filosofía que se ha indicado anteriormente para los diferentes tipos de unión.

2.1.2.3. Variación del diseño arquitectónico y estructural

El cambio de utilización de un edificio, (viviendas a oficinas y locales comerciales) exige una variación del diseño arquitectónico. Este diseño suele obligar a

espacios más amplios y exentos, es decir, supresión de soportes, a la eliminación de elementos estabilizantes como pantallas o jácenas contraviento, o a la apertura de grandes huecos en los forjados para establecer comunicaciones verticales.

2.2. *Rehabilitación de estructuras metálicas*

2.2.1. Estructuras de fundición

No existen estructuras de fundición para edificios aunque si columnas de fundición en el interior de edificios del siglo pasado. También existen muchos elementos de fundición de barandillas, pretiles, kioscos, etc.

La fundición es un material que resiste bien a compresión y no tan bien a tracción. Es frágil por lo que es sensible a la fatiga y a la rotura frágil.

Las columnas clásicas de fundición suelen estar sometidas a solicitaciones de compresión cuasi-estéticos y no suelen tener problemas de fatiga y muy pocos casos de rotura frágil. Por tanto es un elemento que puede ser reutilizable en cualquier rehabilitación.

Cuando existe alguna fisura o grieta puede repararse con facilidad: se sanea la grieta totalmente con la piedra redondeando su iniciación. El relleno de la grieta se debe hacer con electrodos de níquel, precalentando la zona y siempre siguiendo las indicaciones del fabricante de los electrodos.

2.2.2. Estructuras de acero

La patología de las estructuras metálicas se debe a las siguientes causas:

Fatiga.
Rotura frágil.
Corrosión.
Sobrecargas Accidentales.
Fuego.

2.2.2.1. Errores y fallos humanos

En la concepción, dimensionamiento y diseño de detalles, en la ejecución de taller, en el montaje en obra y en el mantenimiento. Es obvio que una vez aparecidos los defectos la labor del rehabilitador consistirá en el refuerzo de la estructura, pero la rehabilitación no se acaba con el refuerzo cuando el daño es debido a fatiga, rotura frágil o corrosión. En los dos primeros casos porque existe una cierta probabilidad que, una vez aparecido un daño de fatiga o rotura frágil, se produzca en otro punto de la estructura. En el caso de la corrosión, porque la causa del daño es extrínseca a la estructura y al refuerzo proyectado. Aquí sólo se harán diversas consideraciones

sobre el problema de la corrosión puesto que la fatiga y la rotura frágil no suelen aparecer en estructuras de edificación donde las acciones son fundamentalmente de naturaleza estática.

2.2.2.2. Corrosión

La corrosión es una reacción de oxidación del acero que se realiza en presencia de agua. Por tanto, el proceso se acelera en ambientes agresivos pues la humedad depositada en las superficies metálicas es electrolíticamente más potente.

Cuando se plantee la rehabilitación de una estructura la estrategia a seguir es la siguiente:

1. Limpieza de la zona corroída para conocer el alcance del problema, pues el enorme aumento de volumen producido por la oxidación hacer pensar en daños mayores que los reales. La limpieza debería hacerse al chorro de arena.

2. Proyecto y realización del refuerzo pertinente en función de la causa del inicio de la corrosión, es decir:

- Evitando las superficies de condensación
- Realizando detalles muy netos, sin infructuosidades ni recovecos
- Dejando las superficies accesibles para un fácil mantenimiento posterior. Si ello no fuera posible, hay que prever una buena ventilación para evitar humedades permanentes.

3. Adecuada protección de las superficies metálicas en función de las condiciones ambientales y del plazo de garantía.

Y, ¿cuáles son la preparación de superficies y formulación de pinturas más correctas de una determinada rehabilitación? A continuación se exponen algunas indicaciones para ayudar en una buena decisión del proyectista.

Ya se ha indicado que el riesgo de la corrosión anticipada de un elemento estructural depende de:

3.1) Su situación en la estructura: una zona poco ventilada, cerca de grandes humedades, una posición donde se producen condensaciones, una exposición directa a la intemperie, etc.
3.2) El medio ambiente donde está el edificio: ambiente rural, urbano o marino.

2.2.2.2.1. Protecciones

La duración de cualquier tipo de protección es siempre limitada, y ello hay que dejarlo muy claro, para que el usuario establezca un calendario de su mantenimiento

y repintado. Aunque no hay ninguna normativa que establezca una definición clara de esta duración tipificada, se puede fijar una garantía de protección de 7 años con referencia a un grado de corrosión determinado:

- Pintura de acabado envejecida, ampollada o decolorada.
- Superficie de la pintura cubierta de óxido: 10 %.
- Película de pintura desprendida.
- Muy pocas picaduras del metal observables a simple vista.

Estas características pueden corresponder a una duración de la protección del orden de 11-15 años si se adopta una política de mantenimiento que contemple repintados parciales a lo largo de dicho periodo. De forma indicativa, y teniendo en cuenta las imperfecciones que una generalización acarrea, se dan las formulaciones siguientes:

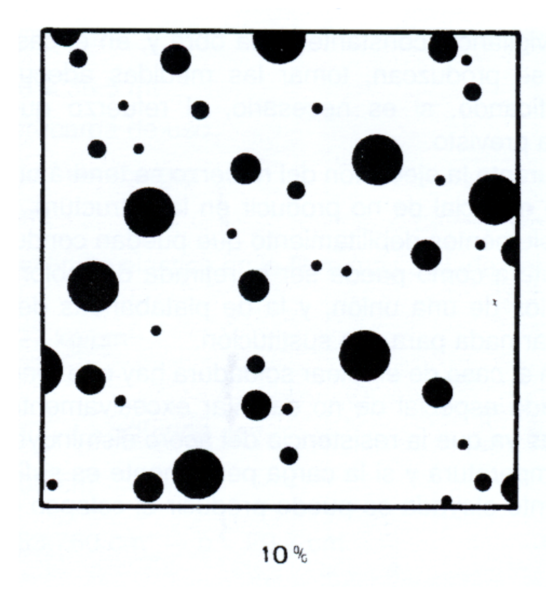


Figura 2.1. Imperfecciones o picaduras de una superficie metálica.
Según Munilla-Lería.

A. *Ambiente agresivo*

- Estructuras a la intemperie al borde del mar o en su zona de influencia, o en zonas industriales de gran humedad.
- Elementos estructurales en puntos de alta condensación, mal ventilados, no accesibles y/o con peligro de estar en contacto con humedades, aunque la estructura esté en un ambiente no agresivo.

1. Preparación de la superficie a pintar con chorro de arena hasta grado Sa 2 1/2 de las normas suecas, SIS 055900 o a casi metal blanco de las especificaciones americanas de la Steel Structures Painting Council.

2. Imprimación epoxi rica en zinc, con espesor de 22 μ de la capa de película seca (una o dos manos).

3. Capa gruesa intermedia epoxi con espesor de película de 75 μ.

4. Esmalte epoxi en acabado de 35 μ de espesor.

Obsérvese que mediante esta formulación se combate en dos frentes al mismo tiempo. La resina epoxi se adhiere perfectamente sobre la superficie de acero preparada al chorro de arena proporcionando un efecto barrera muy eficaz y por sus características el repintado posterior liga perfectamente.

El zinc incluido en las capas de imprimación proporciona al acero una protección activa como es la protección catódica pues el zinc, en contacto con el acero forma un par eléctrico que hace que en presencia de oxigeno (y agua) se oxida el zinc y no el hierro.

La elección de una o dos capas de imprimación será función de la importancia de la agresividad del ambiente. Y como la efectividad de este tratamiento depende de la existencia de contacto entre hierro y zinc, es necesario que la preparación de las superficies tenga una calidad como mínimo del grado Sa 2 1/2.

B. *Ambiente medianamente agresivo.*

- Estructuras de edificios en ciudades de atmósfera húmeda.
- Estructuras en zonas industriales de industria media.
- Elementos estructurales o puntos localizados de la estructura, no accesibles o con peligro de condensaciones, cuando la zona donde se ubica el edificio es muy benigna desde el punto de vista del ataque de la corrosión.
- Preparación de la superficie a pintar con cepillo hasta gradó Sa 3 o chorro de arena hasta grado Sa 2.

1. Imprimación con clorocaucho en diversas variantes con un espesor de la capa de pintura seca de 30-35 μ

2. Capa gruesa intermedia de clorocaucho con un espesor de la capa de pintura seca de 40 μ

3. Capa de acabada de clorocaucho con un espesor de la capa de pintura seca de 30-35 μ o también, sobre la misma preparación, la formulación de tipo alcídica siguiente:

1. Imprimación anticorrosiva sintética de cromato de zinc amarilla de un espesar de 35 μ de película seca.
2. Capa gruesa gris intermedia 60-70 μ

3. Esmalte sintético brillante de acabada 30-35 µ

C. *Ambientes neutros*

- Construcciones rurales
- Construcciones urbanas en la meseta
- Elementos estructurales netos protegidos con fábrica de ladrillo, etc.
- Preparación de la superficie a pintar con cepillo hasta grado Sa 2.

1. Imprimación antioxidante de óxido de hierro o de minio de plomo electrolítico al aceite (35 µ.).

2. Dos manos de acabado con esmalte sintético o de aluminio (35 µ cada capa).

III. Bibliografía

Coscollano Rodríguez, José. 2003. *Restauración y Rehabilitación de Edificios.* Madrid. Thomson-Paraninfo.

Díez de Güemes, Javier. 2008. «El uso de resinas en la reparación de estructuras de hormigón» en Gibert, Luis Miguel (Ed). *Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales*, tomo 3 (369-382). Munilla-Lería. Madrid.

Esbert, Rosa Mª. 2008. «Técnicas de consolidación y protección de la piedra» en Gibert, Luis Miguel (Ed). *Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales*, tomo 3 (153-160). Munilla-Lería. Madrid.

García Esparza, Juan Antonio. 2006. *Documentación de la Rehabilitación del Mercado Central de Valencia*. Inédito. Empresa ISOLUX Corviam.

García Esparza, Juan Antonio. 2007. *Documentación de la Rehabilitación de las Torres de Quart de Valencia*. Inédito. Empresa Cyrespa Arquitectónico.

García Esparza, Juan Antonio. 2008. *Documentación de la Reparación estructural de una estructura de hormigón armado en un edificio de viviendas*. Inédito. Empresa Atyco Rehabilitación.

Hilsdorf, Hubert. 2010. «Schäden an Beton und Bewehrung» en Hassler, Uta (Ed). *Was der architeckt vom stahlbeton wissen sollte.* gta Verlag. Zürich.

Martínez, Rafael y Carlos Martínez. 2008. «Patología de estructuras metálicas y estructuras mixtas» en Gibert, Luis Miguel (Ed). *Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales*, tomo 3 (383-410). Munilla-Lería. Madrid.

Martínez, Rafael y Carlos Martínez. 2008. «Estructuras metálicas y mixtas: refuerzo y rehabilitación» en Gibert, Luis Miguel (Ed). *Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales*, tomo 3 (411-438). Munilla-Lería. Madrid.

Monjó Carrión, Juan J. 2010. *Patología de cerramientos y acabados arquitectónicos*. Madrid. Munilla-Lería.

Rodes, Antonio. 2004. «Pruebas de carga: vigas, forjados y elementos a flexión» en López, Luis (Ed). *Restauración básica* (76-83). C.O.A.C.V. Valencia.

Rodríguez, César Antonio y Ricardo Arribas. 2004. *Introducción a la fisuración en muros de contención de hormigón armado*. Huelva. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva.

Schmidt, Hartwig. 2010. «Zwei Jahrzehnte denkmalgerechte Betoninstandsetzung. Ein Überblick über Verfahren und Methoden, Erfolge und Misserfolge» en Hassler, Uta (Ed). *Was der architeckt vom stahlbeton wissen sollte*. gta Verlag. Zürich.

Serrano, Francisco. 2005. *Patología de la edificación. El lenguaje de las grietas.* Madrid. Fundación Escuela de la Edificación.

Urbán, Pascual. 2015. *Construcción de estructuras de hormigón armado adaptado a las instrucciones* EHE-08, NCSE-02 y CTE. Alicante. Editorial Club Universitario.

IV. Normativa

IV.I. *Código Técnico de la Edificación*

DB-SE-AE Seguridad estructural: Acciones en la edificación
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SE-AE.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 28 de marzo de 2006
Modificado por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007
Corrección de errores.
B.O.E.: 25 de enero de 2008

Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08)
Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, del Ministerio de la Presidencia.
B.O.E.: 22 de agosto de 2008

DB-SE-A Seguridad estructural: Acero
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SE-A.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 28 de marzo de 2006
Modificado por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007
Corrección de errores.
B.O.E.: 25 de enero de 2008

Instrucción de Acero Estructural (EAE)
Real Decreto 751/2011, de 27 de mayo, del Ministerio de la Presidencia.
B.O.E.: 23 de junio de 2011

DB-SUA Seguridad de utilización y accesibilidad
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SUA.
Real Decreto 173/2010, de 19 de febrero, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 11 de marzo de 2010

DB-HR Protección frente al ruido
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HR.
Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007
Corrección de errores.
B.O.E.: 20 de diciembre de 2007

DB-HE Ahorro de energía
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HE.
Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, del Ministerio de Fomento.
B.O.E.: 12 de septiembre de 2013
Corrección de errores.
B.O.E.: 8 de noviembre de 2013

DB-SI Seguridad en caso de incendio
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SI.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 28 de marzo de 2006
Modificado por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007
Corrección de errores.
B.O.E.: 25 de enero de 2008

IV.II. *Normas tecnológicas*

AN/UNE-EN 1992-1-1: Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación.

AN/UNE-EN 1993-1-1: Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación.

UNE-EN 934-2/A2:2006. Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 2. Aditivos para hormigones. Definiciones, requisitos, conformidad. Marcado y etiquetado.

UNE-EN 934-6:2002. Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 6. Toma de muestras, control y evaluación de la conformidad.

UNE-EN 1015-11:2000. Métodos de ensayo de los morteros para la albañilería. Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido.

UNE-EN 1090-1:2011+A1:2012. Ejecución de estructuras de acero y aluminio. Parte 1: Requisitos para la evaluación de la conformidad de los componentes estructurales.

UNE-EN ISO 1460:1996. Recubrimientos metálicos. Recubrimientos de galvanización en caliente sobre materiales férricos. Determinación gravimétrica de la masa por unidad de área.

UNE-EN ISO 1461:2010. Recubrimientos de galvanización en caliente sobre piezas de hierro y acero. Especificaciones y métodos de ensayo.

UNE-EN 1504: 2009 Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón.

UNE-EN 13438:2014. Pinturas y barnices. Recubrimientos orgánicos en polvo para productos de acero galvanizado en caliente o sherardizado, empleados en la construcción.

UNE-EN ISO 14713-1:2011. Directrices y recomendaciones para la protección frente a la corrosión de las estructuras de hierro y acero. Recubrimientos de cinc. Parte 1: Principios generales de diseño y resistencia a la corrosión.

UNE-EN ISO 14713-2:2011. Directrices y recomendaciones para la protección frente a la corrosión de las estructuras de hierro y acero. Recubrimientos de cinc. Parte 2: Galvanización en caliente.

UNE-EN ISO 14713-3:2017. Recubrimientos de cinc. Directrices y recomendaciones para la protección frente a la corrosión de las estructuras de hierro y acero. Parte 3: Sherardización.

UNE-EN ISO 15614-1:2005. Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para los materiales metálicos. Ensayo de procedimiento de soldeo. Parte 1: Soldeo por arco y con gas de aceros y soldeo por arco de níquel y sus aleaciones. (ISO 15614-1:2004).

UNE-EN ISO 15630:2003. Acero para el armado y el pretensado del hormigón. Métodos de ensayo.

V. Software Técnico-Comercial

Arquímedes y generador de precios CYPE / AutoCAD. Autodesk / REVIT. Autodesk

Base de datos de construcción de la Comunidad Valenciana. Instituto Valenciano de la Edificación.

Base de datos Precio Centro Guadalajara. Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de Guadalajara.

VI. Congresos internacionales sobre la materia

Asociaciones que patrocinan los congresos internacionales del ISI Conference Proceedings Citation Index.

SECIL Companhia Geral Cal & Cimento, S A
BETAR Consultores, LDA
European Convent Construct Steelwork (ECCS)
Int Assoc Bridge Maintenance & Safety (IABMAS)
Int Assoc Bridge & Struct Engn (IABSE)
TensiNet
Architects Council Europ (ACE)
Architectural Inst Japan (AIJ)
Amer Soc Civil Engineers (ASCE)
China Civil Engn Soc (CES)
Construcao Magazine (CM)
Fundacao Calouste Gulbenkian
Ordem Arquitectos
Amer Soc Civil Engineers, Struct Engn Inst (SEI)
European Soc Computat Methods Sci & Engn
Proceq
Inst Concrete Technol

Germann Instruments
Hilti
Ed Zublin AGlie
Sika Hellas
corrPRE
NORDIA S A
Forum UNESCO
United Nat Educ, Sci & Cultural Org, Commissione Nazionale Italiana
US Italy Fulbright Commiss Linking Minds Across Cultures
Toni Technik Baustoffprufsysteme GmbH
MAPEI, Profesjonalna Chemia Budowlana
KEIM
PLAZA CTR
Quick Mix
TITAN POLSKA
ULMA
Ruredil
Int Congress Polymers Concrete
Japan Concrete Inst
European Convent Construct Steelwork (ECCS)
Int Assoc Bridge Maintenance & Safety (IABMAS)
Int Assoc Bridge & Struct Engn (IABSE)
TensiNet
Architects Council Europ (ACE)
Architectural Inst Japan (AIJ)
China Civil Engn Soc (CES)
Amer Soc Civil Engineers, Struct Engn Inst (SEI)
Wessex Inst Technol
WIT Transact Built Environm
Degussa MBT S Pte Ltd
Mapei Far E Pte Ltd
Sika Pte Ltd; Def Sci & Technol Agcy.

VII. Material docente complementario

Esta unidad didáctica se complementa con material gráfico de Casos Particulares de Estudio en obras de rehabilitación:

- Mercado Central de Valencia.
- Torres de Quart de Valencia.
- Estructura de hormigón armado en un edificio de viviendas, Valencia.

Unidad didáctica 6
http://bit.ly/2PRG0xR



ISBN: 978-84-17429-28-7

DOI:http://dx.doi.org/10.6035/Sapientia144

CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EDIFICIOS

Unidad didáctica 7

Sintomatología, diagnosis y tratamiento de humedades

ÍNDICE:

12. Material docente complementario

Esta unidad didáctica se complementa con material gráfico de Casos Particulares de Estudio en obras de rehabilitación:

- Mercado Central de Valencia.
- Torres de Quart de Valencia.
- Iglesia Parroquial de la Pobla de Benifassà, Castellón.

Sintomatología, diagnosis y tratamiento de humedades

1. Metodología del diagnóstico de humedades. Una aproximación sistemática

1.1. *Fichas de prediagnosis*

La ficha 1 clasifica los posibles tipos de humedad asociando y agrupando los diversos orígenes del agua y la forma de penetración que puede corresponder a cada tipo. El signo XXX indica que la relación es frecuente. El signo X indica que la relación es posible, es decir, que a veces se produce. De esta manera podemos observar que el agua de lluvia se asocia predominantemente a filtraciones (goteras), manchas de agua absorbidas por capilaridad, o salpicaduras, aunque también es posible asociarla a condensaciones y manchas que parezcan de capilaridad ascendente. Por tanto, la lluvia puede presentarse en formas varias de patología.

Tabla 1.1. *Clasificación de posibles tipos de humedad.*

Ficha I	**Condensación**	**Capilar ascendente pura**	**Capilar freática**	**Tuberías con presión rotas**	**Tuberías sin presión rotas**	**Salpicaduras**	**Lluvia absorbida**	**Filtración de lluvia**	**Averías**
Origen									
Freático	**X**	**X**	**XXX**						
Lluvia	**X**	**X**	X			X	X	X	
Nivel capilar	**X**	**XXX**							
Rotura tuberías		X		XXX	XXX				**XXX**
Rotura depósitos			X	X					**X**
Producción de vapor para el uso	**XXX**								
Vapor ambiental exterior	**XXX**								

ISBN: 978-84-17429-28-7

DOI:http://dx.doi.org/10.6035/Sapientia144

Mecanisme									
Presión			XXX	XXX					**X**
Capilaridad		XXX	X	X	XXX		XXX		**X**
Viento o salpicaduras						XXX		XXX	
Gravedad								XXX	
Diferencia de p. De vapor	**XXX**								**X**
Convección	**XXX**								

Tabla según: García Morales, Soledad. 1993.

Paralelamente, la ficha indica el mecanismo de penetración del agua en cada caso. Se observa que, por ejemplo, la diferencia entre una humedad «capilar ascendente pura» y otra de «capilar freático» es que, en la segunda, el agua se presenta con cierta presión y, en cambio, en la primera no. El problema más grave de la prediagnosis es el de diferenciar varias causas posibles ya que en la patología de humedades los fenómenos no suelen presentarse aislados. Por eso es recomendable estudiar cada mancha por separado, y sólo agruparlas cuando se haya comprobado la coincidencia de las otras observaciones.

Entre los problemas de diferenciación o superposición de causas, es protagonista la condensación, que suele aparecer asociada a otros fenómenos de capilaridad, o penetración de agua de lluvia. Una mancha de humedad de cualquier origen, si no se evapora rápidamente, puede presentar con el tiempo la apariencia de un fenómeno de condensación.

Las fichas 2 a 5 profundizan un poco más en la observación y el análisis del tipo de humedad. Su intención es servir de guía de inspección, contrastando los síntomas que se observan de forma visual con los que suelen asociarse a cada tipo de humedad. Así, nuestra inspección señalará una dirección determinada, que será la que tendremos que comprobar con el instrumental adecuado.

Como se puede observar, las anotaciones hacen referencia a la situación, morfología, extensión, etc., de la mancha, y también a posibles coincidencias en su aparición, y otros síntomas que generalmente se suelen asociar. La ficha es, pues, una «guía del sentido común» en el caso de la prediagnosis, y permite simplificar cualquier investigación posterior.

Ficha 1	Humedad de capilaridad ascendente pura
Situación:	Locales con sótano o planta baja. Mayor probabilidad en muros exteriores.
Localización:	Partes bajas de los muros de carga. Encuentros de pared y solera. Soleras.
Morfología:	Mancha «zócalo» de altura aproximadamente uniforme. (Puede alcanzar cotas altas si la humedad y el edificio son antiguos). La altura es aproximadamente igual en la cara interior y exterior del muro (si el muro es homogéneo).
Extensión:	Generalmente grande (toda la longitud del muro).
Color:	Puede adquirir coloración si hay algas, hongos, musgo, etc.
Olor:	Ninguno.
Coincidencias espaciales:	Puede haber diferencias de altura que coinciden con cambios de material. Los muros más húmedos suelen ser los orientados al Norte o los que están en la sombra.
Coincidencias temporales:	
Forma de aparición:	Ascenso por succión capilar desde el terreno húmedo, a través de los cimientos, los muros de contención, etc. El muro o la solera no está «blando», sino «húmedo». No rezuma ni gotea agua. La superficie evapora agua. El agua no penetra con presión.
Origen:	Terreno húmedo. El edificio no llega a interceptar el nivel freático.
Otros síntomas:	Eflorescencias. Abombamiento y caída de acabados, pinturas, principalmente en la zona o línea donde hay una alternancia de períodos húmedos y secos. Disgregación de materiales.

Ficha según: García Morales, Soledad. 1993.

Ficha 2	Humedad capilar freática
Situación:	Locales de sótanos y planta baja, generalmente exteriores.
Localización:	Partes bajas de muro de carga, de contención. Encuentros de muros y soleras. Soleras.
Morfología:	Mancha extensa e intensa. La mancha y la humedad es más intensa cerca de las grietas, las juntas constructivas, encuentros, etc.
Extensión:	Puede tener forma de zócalo ancho y uniforme, o cubrir toda la superficie.
Color:	Generalmente, ninguno.
Olor:	Generalmente, ninguno.
Coincidencias espaciales:	Pueden aparecer en muros junto a pendientes, o muros sobre vaguadas. Puede existir una fuente en el terreno.
Coincidencias temporales:	Puede coincidir con obras en un solar cercano, o con una época de lluvia intensa, deshielo, etc. Puede reflejar variaciones estacionales.
Forma de aparición:	El agua lleva «carga» por provenir de la capa de nivel freático que se ha interceptado en los cimientos. El muro está blando: rezuma o gotea agua. A veces mana con mayor o menor intensidad. La penetración es mayor a través de agujeros, grietas, juntas, etc.
Origen:	Corrientes subterráneos naturales (nivel freático).
Otros síntomas:	Puede haber eflorescencias. Arrastre de finos si la presión de penetración es mayor. Disgregación y ruptura del material.

Ficha según: García Morales, Soledad. 1993.

Ficha 3	Humedades por filtración del agua de lluvia
Situación:	Locales con algún cierre en contacto con el exterior, o que están próximos.
Localización:	Es muy variable. Generalmente en muros y techos. Suele ser próximo al muro por donde se produce la penetración del agua, pero a veces no es así y el agua recorre un largo camino antes de manifestarse.
Morfología:	Mancha central y radial, o alargada. Forma definida, de bordes claros.
Extensión:	Variable, generalmente pequeña, salvo en casos en que existe embozado.
Color:	Ninguno.
Olor:	Ninguno.
Coincidencias espaciales:	Proximidad a puntos de encuentro, uniones o junta de material de impermeabilización. Proximidad a canales de cubierta. Proximidad de juntas de paneles o de juntas constructivos del edificio.
Coincidencias temporales:	Coincide con las precipitaciones. Aparición generalmente inmediata.
Forma de aparición:	El agua penetra gracias a la fuerza directa de choque que tiene la lluvia cuando va unida al viento. Aunque los materiales de la fachada sean impermeables, si hay agujeros bastante grandes (juntas mal selladas, solapamientos mal hechos, etc.), el agua penetra a través de ellos. Desde el punto de penetración, el agua puede desplazarse por gravedad o por capilaridad, según el tipo de construcción. El agua suele recorre un camino definido y aparece «goteando» en el interior.
Origen:	Agua de lluvia.
Otros síntomas:	Si la evaporación o el secado son lentos, pueden aparecer hongos.

Ficha según: García Morales, Soledad. 1993.

Ficha 4	Humedades de condensación
Situación:	Generalmente, cerramientos (fachadas, cubiertas, soleras o forjados de techo sobre cámaras, y en ocasiones cielo rasos). A cualquier altura.
Localización:	Cualquier posición.
Morfología:	Variable. A veces dibuja la forma de un puente térmico. Otras veces presenta la forma de zócalo continuo, de mancha de rincón, o de mancha redondeada («nube»).
Extensión:	Variable.
Color:	Puede adquirir coloración (negruzca o gris-verdosa) si hay hongos.
Olor:	La clásica olor a moho. El olor puede notarse aunque, aparentemente, no haya mancha de humedad.
Coincidencias espaciales:	Con: - puentes térmicos - locales fríos y / o mal ventilados (baños, cocinas, zonas de estar...) - fisuras o grietas que constituyen fugas de aire de la habitación - tuberías o conductos situados en regatas o huecos - chimeneas - fondos de armarios o muebles arrimados a la pared - paredes de separación en locales fríos y húmedos
Coincidencias temporales:	Puede aparecer especialmente en épocas húmedas, o después de una penetración de agua (lluvia, capilaridad ...), en la que queda la humedad durante un cierto tiempo. Puede coincidir también con un cambio de tiempo.
Forma de aparición:	Por difusión del vapor de agua entre locales con ambiente higrotérmico diferente. Por convección del aire húmedo que se condensa en puntos fríos. Por evaporación de humedad en el local.
Origen:	Vapor de aparatos, máquinas o personas. Vapor de aire ambiental exterior (climas húmedos)
Otros síntomas:	Presencia de sales higroscópicas. Hinchazón de pinturas, papel, etc. Pudrición de madera.

Ficha según: García Morales, Soledad. 1993.

1.2. *Comprobación de la prediagnosis*

A la vista de la información recogida y del análisis realizado sobre los datos con ayuda de las fichas, diremos que puede ocurrir:

a) Que sólo sea posible una causa.

b) Que la prediagnosis determine diversas causas posibles. Por la comprobación del segundo caso se pueden llevar a cabo posibles estudios o ensayos de apoyo:

b.1) Estudio ambiental con termohigrógrafo y termohigrómetros
b.2) Sondeos geológicos destinados a localizar el nivel freático, así como la composición de los distintos estratos del terreno
b.3) Análisis de las propiedades hídricas de los materiales
b.4) Análisis de caracterización de los materiales, de sales solubles y de eflorescencias
b.5) Análisis bioquímico

1.3. *Diagnosis definitiva*

Con los datos que proporcionan los ensayos solicitados, o con la localización de la fuente, se debe estar en condiciones de describir con fuerza aproximación al fenómeno patológico con el que nos encontramos, situándolo espacial y temporalmente, y cuantificando su magnitud al máximo posible.

En cada caso concreto, la precisión de diagnóstico necesaria será determinada por múltiples factores: la importancia y dimensiones del edificio, los tipos de intervención a realizar (para lo cual se solicita el diagnóstico, el presupuesto, etc.).

Evidentemente que el planteamiento no es lo mismo si se trata de un edificio patrimonial que de una vivienda particular: en este último, por ejemplo, si hay dudas a la hora de hacer un diagnóstico sobre la capacidad de absorción de los materiales de la fachada, y el coste de la investigación supera al de un nuevo revestimiento exterior, y no hay otras razones en contra, podemos deducir que no es rentable realizar la investigación y ejecutaremos la obra asegurando, eso sí, que el material nuevo reúna los requisitos necesarios.

Lo mismo podría afirmarse del planteamiento de una costosísima investigación si esta no conduce de manera segura a la adopción de una solución óptima, caso frecuente en el que el técnico experimenta la falta de un «puente» entre un diagnóstico más o menos preciso y las posibilidades de mercado con respecto a los sistemas de intervención. Construir este «puente» significaría un extenso conjunto de empresas, vendedores, investigadores y técnicos, con el fin de establecer parámetros comunes que permitieran optimizar en cada caso la solución requerida y constituyeran una base de trabajo para establecer un criterio de calidad y control de las intervenciones (tablas 1.2 y 1.2 bis).

Tabla 1.2. *Compatibilidad entre técnicas de intervención, los materiales, su localización, el ambiente, el uso y la naturaleza de la patología.*

	Materiales constituyentes						Localización del fenómeno						
TÉCNICAS DE INTERVENCIÓN	Ladrillos	Piedra	Mixto	Hormigón armado	Madera	Metales	Exterior	Enterrado	Parcialmente enterrado	Sobre el terreno	Sobre el drenaje	Sobre cimentac. aisladas	Sobre cimentac. corridas
Drenaje del terreno con tuberías	▪	▪	▪	▪				▪	▪				▪
Drenaje del terreno con canal de recogida	▪							▪	▪			▪	▪
Drenaje del terreno con lámina impermeable	▪	▪	▪	▪				▪	▪	▪	▪		▪
Drenaje del terreno con elementos porosos	▪		▪					▪	▪	▪		▪	▪
Corte de las paredes con sierra circular	▪								▪				▪
Corte de las paredes con taladro	▪	▪	▪	▪					▪			▪	▪
Interposición de barreras prefabricadas rígidas	▪			▪					▪				▪
Interposición de barreras plásticas	▪	▪	▪	▪					▪			▪	▪
Interposición de lámina metálica a presión	▪								▪			▪	▪
Inclusión de aireadores drenantes	▪	▪	▪				▪		▪		▪	▪	▪
Instalación electrocinética permanente	▪	▪	▪						▪	▪	▪		▪
Instalación electrocinética temporal	▪	▪	▪						▪	▪	▪		▪
Formación de barrera química a baja presión		▪	▪		▪		▪		▪			▪	▪
Formación de barrera química a media presión	▪	▪	▪				▪		▪			▪	▪
Formación de barrera química a alta presión	▪			▪			▪		▪			▪	▪
Tratamiento superficial protector impermeabilizante y filmógeno	▪	▪	▪	▪	▪		▪						
Tratamiento superficial protector impermeabilizante no filmógeno	▪	▪	▪	▪		▪	▪						
Tratamiento superficial protector impermeabilizante bituminoso				▪	▪	▪	▪	▪				▪	▪
Tratamiento hidrorepelente e hidrófugo	▪	▪	▪	▪	▪		▪						
Revoco transpirable y aireando	▪		▪				▪	▪					
Repuesto del revoco con productos osmóticos	▪	▪	▪				▪	▪	▪				
Repuesto del revoco con productos impermeabilizantes				▪			▪	▪	▪				
Protección final con materiales plásticos	▪		▪	▪		▪	▪						
Protección final con materiales naturales	▪	▪	▪	▪	▪		▪						
Protección contra la lluvia ácida	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪		▪	▪			
Tratamiento fungicida antisales	▪	▪	▪	▪	▪			▪	▪				
Tratamiento bactericida	▪	▪			▪		▪	▪	▪				
Tratamiento de ventilación anticondensación	▪		▪	▪			▪	▪	▪				
Tratamiento químico anticondensación	▪		▪	▪			▪	▪	▪				

Tabla según: Cesari, Carlo, Luisella Gelsomino y Sandro Massa. 1993.

Tabla 1.2. Bis. (Continuación de la tabla 1.2).

Exposición				Ambiente					Uso del local						Extensión del fenómeno				Origen del fenómeno								Causa del fenómeno						
Norte	Sur	Este	Oeste	Metropolitano	Urbano	Rural	Agrícola	Industrial	Residencial	Terciario	Productivo	Comercial	Accesorio	Tecnológico	Localizado	Generalizado	Exterior	Interior	Cubierta inclinada	Cubierta plana	Bajo cubierta	Instalación de evacuación	Chimenea	De capilaridad	De los agentes atmosféricos	De condensación	Humedad de capilaridad	Agua de lluvia	Condensación	Instalación tecnológica	Tuberías	Escasa ventilación	Proliferación de vegetales
▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪		▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪						▪			▪	▪					
▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪						▪			▪	▪					
▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪						▪			▪	▪					
▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪						▪			▪	▪					
▪	▪	▪	▪		▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪			▪	▪	▪						▪			▪	▪					
▪	▪	▪	▪	▪	▪				▪	▪		▪			▪	▪	▪	▪						▪			▪	▪					
▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪			▪	▪	▪						▪			▪	▪					
▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪		▪	▪	▪						▪			▪	▪					
▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪		▪	▪	▪	▪	▪						▪			▪	▪					
▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪		▪		▪	▪	▪	▪	▪	▪						▪			▪	▪					
▪	▪	▪	▪	▪	▪				▪	▪	▪	▪				▪	▪	▪						▪			▪	▪					
▪	▪	▪	▪	▪	▪				▪	▪	▪	▪				▪	▪	▪						▪			▪	▪					
▪	▪	▪	▪	▪	▪				▪	▪		▪		▪	▪	▪	▪	▪						▪			▪						
▪	▪	▪	▪	▪	▪				▪	▪		▪		▪	▪	▪	▪	▪						▪			▪						
▪	▪	▪	▪	▪	▪				▪	▪		▪		▪	▪	▪	▪	▪						▪			▪						
▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪			▪	▪	▪	▪		▪	▪	▪		▪	▪					▪			▪					
▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪		▪	▪	▪	▪	▪	▪					▪			▪	▪		▪	▪		▪	▪	
▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪			▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪		▪	▪		▪			▪			▪		▪			▪
▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪		▪		▪	▪	▪				▪			▪					
▪	▪	▪	▪	▪	▪				▪	▪	▪	▪			▪	▪	▪	▪							▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪		
▪	▪	▪	▪	▪	▪				▪	▪	▪	▪			▪	▪	▪	▪							▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪		
▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪			▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪					▪		▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪		
▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪		▪	▪								▪			▪			▪		▪
▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪		▪	▪	▪							▪	▪		▪	▪		▪	▪	
▪	▪	▪	▪	▪	▪			▪	▪	▪	▪	▪		▪	▪		▪		▪	▪	▪	▪		▪	▪	▪		▪		▪			
▪				▪	▪	▪	▪		▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪		▪		▪	▪	▪	▪		▪	▪	▪			▪	▪	▪	▪	▪
▪				▪	▪	▪	▪		▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪		▪		▪	▪	▪	▪		▪	▪	▪			▪	▪	▪	▪	▪
▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪		▪	▪	▪	▪		▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
▪	▪	▪	▪	▪	▪			▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪		▪		▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪

Tabla según: Cesari, Carlo, Luisella Gelsomino y Sandro Massa. 1993.

2. Humedades: Técnicas de análisis

2.1. *La humedad en la construcción*

La presencia de humedad en la construcción puede comportar su deterioro estructural, al aumento de la dispersión térmica, la degradación de los acabados superficiales y el desarrollo de microorganismos que pueden ser perjudiciales incluso para la salud de las personas.

Si un material poroso está inserto en una atmósfera muy húmeda, absorberá vapor, aumentando así su contenido de humedad, y viceversa. Para cada valor de humedad relativa de aire y para cada material existirá, por tanto, una condición de equilibrio, si la humedad relativa varía, variara con ella el contenido de humedad del material.

El valor del contenido de humedad se deduce generalmente con la fórmula siguiente:

100 x (peso del material húmedo - peso del material seco) / peso del material seco.

Si el material se encuentra en equilibrio (es decir, el contenido de humedad es igual al que corresponde al valor de humedad relativa ambiental), el material estará en condiciones normales. En cambio, si su contenido de humedad supera este valor de equilibrio, será un material húmedo. Teniendo en cuenta que las alteraciones de naturaleza biológica se manifiestan alrededor de valores de humedad relativa comprendidos entre el 75 % y el 85 %, podremos también decir que se trata de una superficie húmeda si su contenido de humedad resulta equivalente a un contenido en equilibrio con un valor de humedad relativa superior al 75 %.

2.1.1. Presencia de agua en las paredes

El agua puede estar presente en las paredes en forma de:

- Agua ligada, que es parte del agua que se utiliza en la fase de construcción y que se liga químicamente al material, este tipo de agua no contribuye a los problemas de humedad, ya que no es móvil.
- Agua absorbida. Esta es absorbida en fase de vapor directamente de la atmósfera, pero también en fase líquida, cuando se manifiestan fenómenos de condensación. La presencia de sales higroscópicas acentúa estos fenómenos.
- Agua de capilaridad. Los materiales porosos ejercen una succión del agua, que de este modo penetra lentamente en el interior de las paredes.

2.1.2. Medida de la humedad

El método más utilizado es el de lectura directa, es decir, se extrae una muestra del material mediante un taladro y se mide el peso, antes y después de haber sido deshidratados. Este tipo de procedimiento es de carácter destructivo y no es siempre aplicable.

Entre los métodos no destructivos, el más empleado es el conductimétrico, que explota la propiedad del agua de escindirse en iones, es decir, en partículas cargadas eléctricamente. Cuanto más elevado es el contenido de humedad más numerosos serán los iones disueltos y, por tanto, mayor será la corriente que pasará entre los dos electrodos del instrumento, puestos en contacto con el material húmedo que debe analizarse.

Otro método de medición es el capacitivo, que explota la propiedad de la molécula de agua —polarizable— de contribuir al incremento de la capacidad eléctrica que se genera entre dos electrodos puestos en contacto con el material húmedo que se quiere analizar.

Este tipo de instrumento puede revelar sólo humedades en estratos muy delgados. Estos instrumentos pueden ser utilizados para definir si la estructura o parte de ella tiene un contenido de humedad normal, en el sentido indicado anteriormente.

Pueden, por tanto, ser razonablemente utilizados para determinar la zona o las zonas más húmedas, y llegar así a las causas de la misma humedad.

2.1.3. Origen de la humedad en fase liquida

La penetración de la humedad en fase líquida puede ser originada por las siguientes causas:

- Penetración directa de la lluvia: la humedad puede producirse por grietas, incrustaciones del revestimiento exterior, o bien por una inadecuada protección de las cubiertas
- Ruptura de las bajantes de desagüe: esta es una causa muy frecuente y puede producir daños evidentes, si no se hace a tiempo la reparación
- Ruptura de las tuberías: esta causa también, como la anterior, puede producir daños importantes y resulta más difícil su localización, ya que generalmente las tuberías se encuentran en el interior de la pared
- Capilaridad: si la estructura no está adecuadamente impermeabilizada, sufrirá una subida capilar del agua, procedente del terreno que la rodea debido a las fuerzas intermoleculares que se generan en el contacto líquido-superficie porosa; cuanto más pequeños son los poros, mayor será el frente de subida.

2.1.4. Origen de la humedad en fase de vapor

Cuando el aire húmedo alcanza el máximo contenido de vapor consentido en aquella temperatura, se dice que el aire está saturado. Por tanto, el contenido de vapor en el aire es limitado y depende de la temperatura, cuanto más caliente es el aire, más vapor podrá contener.

La humedad relativa es una medida de la diferencia de las condiciones de saturación del aire. Si el aire está en contacto con una superficie más fría se podrá condensar sobre ésta y se deberá alcanzado el valor de la temperatura de saturación en este punto.

Por tanto, si la pared resulta fría, compatiblemente con las condiciones (temperatura y humedad del aire ambiental), se podrá generar el fenómeno de la condensación superficial, con aumento del contenido de humedad de la pared.

Este tipo de fenómeno se manifiesta sobre todo en las zonas más bajas de la pared, aproximadamente a 50-100cm. alzada, pero también sobre el pavimento, ya que en esta zona el aire generalmente está más frío.

Con el fin de establecer si se alcanzan o no las condiciones mencionadas, se recurre, generalmente, al uso del diagrama psicométrico.

Conociendo el valor de la temperatura y humedad del aire (punto A), se verifica la condensación, siguiendo la bajada de la línea isoterma hasta llegar a la curva de saturación (punto S). Si la temperatura de la pared resulta inferior o igual a la temperatura del (punto S), tendremos condensación. La condensación por tanto se manifestará más fácilmente cuanto más fría resulte la temperatura de las paredes respecto de la temperatura del aire, y cuanto más elevado sea el valor de la humedad relativa.

A menudo, la causa del elevado valor de la humedad relativa está localizada en los baños y en las cocinas, donde, por otra parte, hay un recambio del aire más frecuente, mientras los efectos se pueden manifestar también en otros locales, menos ventilados y más fríos.

Otro tipo de condensación es la llamada intersticial, que se manifiesta en el interior de las estructuras.

En las paredes, generalmente, la distribución de la temperatura decrece del interior hacia el exterior, así como la distribución del contenido de vapor.

Si la temperatura de saturación resulta en algunos puntos más elevada que la temperatura normal de la pared en aquellos puntos, tendremos condensación intersticial.

2.2. *Clasificación de los tipos de humedad*

- La humedad de capilaridad
- La humedad de filtración
- La humedad de condensación

3. La humedad por capilaridad

La humedad ascendente en las paredes puede tener origen en las aguas de la capa freática o en las aguas dispersas de escurrimiento.

La primera causa está casi siempre presente y puede variar de nivel según las estaciones, las variaciones son definidas en el tiempo y van ligadas a las transformaciones de asentamiento del subsuelo provocadas por el hombre.

La segunda es debida a las precipitaciones atmosféricas que impregnan el subsuelo, o bien es causada por el hombre por deficiencias constructivas o de mantenimiento, por fugas de instalaciones urbanas o privadas de agua.

La ascensión se realiza por capilaridad y se manifiesta inicialmente con diferentes intensidades, según la porosidad del material con el que está realizada la pared.

La capa freática no se puede eliminar, pero sí desviarla o controlarla, las aguas de escurrimiento pueden ser eliminadas, aisladas y controladas.

La humedad de ascensión elimina por procesos de evaporación, que acentúan al aumentar la ventilación. La evaporación está condicionada por la temperatura del aire y por la humedad relativa ambiental. El nivel de evaporación varía según el clima y la exposición de las fachadas (figura 3.1).

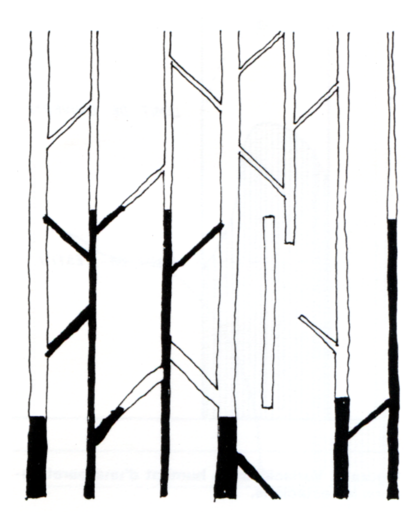


Figura 3.1. Ascensión de la humedad por capilaridad.

3.1. *Intervenciones contra la humedad por capilaridad*

En este caso es fundamental poder individualizar exactamente la procedencia de la humedad, para poder elegir la terapia a adoptar.

Además, si la intervención se refiere a una patología antigua, hay que tener presente que cualquier terapia puede tener sólo efectos relativos.

La humedad ascendente se combate interviniendo en la fuente, interceptando el recorrido del agua, cerrando la ascensión capilar o haciendo bajar el punto de evaporación. Además, como un muro viejo está generalmente impregnado de sales y tiene por tanto un determinado nivel de higroscopicidad, para sanearlo debe también eliminar la humedad. Después se pueden añadir tratamientos protectores con hidrorrepelentes o impermeabilizantes.

Esquemáticamente, pues, las fases de la intervención de saneamiento son:

3.1.1. Reconocimiento de la causa que provoca el fenómeno
3.1.2. Eliminación de la fuente
3.1.3. Interceptación del agua
3.1.4. Obstrucción de la ascensión
3.1.5. Eliminación de la humedad

Si después la pared permanece en un ambiente húmedo, se deberán añadir otras operaciones:

3.1.6. Eliminación de los efectos inducidos
3.1.7. Protección y prevención

Hay que decir que para este tipo de humedad, la cámara de aire puede no ser suficiente, mientras la impermeabilización puede resultar negativa.

3.1.1. Reconocimiento de las causas

La humedad ascendente puede manifestarse de forma difusa en la base de la pared, o de manera localizada. La humedad difusa denota sin duda una fuente constante, que puede ser de capa freática o de pérdida importante de agua en el subsuelo, si aparece sólo después de precipitaciones atmosféricas, es causada por las aguas subterráneas de escurrimiento.

La humedad localizada denota, en cambio, una fuente traumática local, como las pérdidas en cisternas o en cloacas subterráneas, que impregnan el terreno alrededor de los cimientos, directamente (en el subsuelo y en la pared), o indirectamente (desde el tejado o redes aéreas), que impregnan el terreno de alrededor de los cimientos.

Con referencia a la relación entre ascensión capilar y ventilación, un método inmediato para reconocer la fuente es el de determinar los niveles de evaporación en las paredes internas y externas del edificio examinado: si los dos niveles son comparables, presumiblemente nos encontramos en presencia de humedad ascendente, si las paredes internas presentan niveles superiores a las externas, nos encontramos en presencia de condensación.

3.1.2. Eliminación de la fuente de la humedad

La eliminación no es posible en el caso de la capa freática, y es desaconsejable, porque es muy costosa en el caso de agua de escurrimiento en estratos profundos del subsuelo.

Mientras el reconocimiento de la capa freática es bastante sencillo, la diferencia entre agua de escurrimiento debida a precipitaciones atmosféricas y aguas dispersas debidas a causas accidentales, puede ser detectada sólo relacionando la aparición de las manifestaciones con las precipitaciones atmosféricas.

Una vez comprobado que la fuente es un escape de las instalaciones urbanas o privadas, la eliminación de la causa se realiza mediante la reparación del desperfecto. En el caso de desperfectos en las instalaciones urbanas o de desperfectos externos a los edificios y muy extensos, es aconsejable intervenir cortando el recorrido del agua.

3.1.3. Interceptación del agua

La interceptación del recorrido del agua desde la fuente a la pared, también se llama barrera vertical. Este puede ser utilizado incluso en presencia de agua freática y, más en general, en el caso de agua superficial de escorrentía y por fugas accidentales.

Para la capa freática, sirve únicamente si en proximidad de los cimientos hay capas de terreno impermeable, de modo que el agua se pueda dirigir hacia debajo de estos cimientos: se trata de crear pozos filtrantes a una distancia de, al menos, dos metros de los cimientos. La interceptación es en cambio el sistema más eficaz en el caso de aguas de escorrentía o de fugas. El sistema se basa en el principio de una zanja de drenaje, más o menos ventilada, alrededor los cimientos. La zanja sirve para recoger las aguas y dirigirlas hacia otro lugar, o bien para favorecer una mayor superficie de ventilación de las paredes.

La zanja de drenaje puede, por tanto, quedarse vacía, cubierta o descubierta, rellenada de grava u otros materiales. En el caso de edificios históricos, es preferible, sobre todo, cuando el terreno tenga cierta homogeneidad o consistencia, predisponer una zanja llena o armada.

Hoy en día existen también otros métodos que plantean sustituir las zanjas de drenaje. Son métodos que utilizan productos manufacturados de cerámica u hormigón, o bien filtros de material sintético.

3.1.4. Barrera de ascensión

Para impedir la ascensión por capilaridad, hay muchos sistemas, todos basados en el mismo principio: constituir una barrera que bloquee el poro del material, en la base de la pared.

La barrera puede ser mecánica o química.

La barrera mecánica consiste en un corte de la pared con la inserción de barreras de diversa naturaleza. La barrera química se realiza por impregnación o inyección de preparados químicos a baja, media y alta presión (figura 3.2 – Sierra de corte horizontal de fábricas).

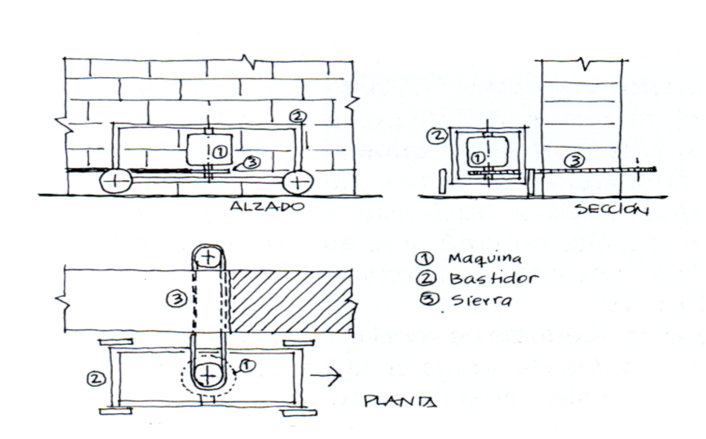


Figura 3.2. Elaboración de una barrera de ascensión. Según Munilla-Lería

3.1.5. Deshumidificación

Las técnicas para sanear la pared mojada, una vez determinadas y eliminadas las causas de la humedad, se basan fundamentalmente en: ventilación, ósmosis, electro-ósmosis y electro-ósmosis-foresis.

Los productos a utilizar pueden ser, por un lado, aparatos de ventilación, sifones de drenaje e instalaciones de electro-ósmosis-foresis y, por otra, tratamiento con materiales osmóticos o tratamientos superficiales aireantes (revestidos).

3.1.6. Eliminación de los efectos inducidos

Se trata, en este caso, de sanear los daños producidos por la humedad, eliminando pudriciones, hongos, etc. mediante tratamientos contra las sales, fungicidas, antibacterias, etc.

3.1.7. Protección

Es aconsejable proteger las estructuras saneadas con tratamientos hidrófugos o impermeabilizantes, a escoger según el tipo de estructura y el tipo de problema, ya que tienen efectos de prevención.

Las operaciones de los puntos 5 º y 7 º son aconsejables, si la calidad los muros lo permite, no sólo por la humedad ascendente, sino también por otros tipos de humedad, especialmente de condensación y de filtración directa de agua de lluvia.

3.2. *Tratamientos, ventajas e inconvenientes*

3.2.1. Sistemas de corrección de humedades. Ventajas e inconvenientes

La eliminación de humedades en los edificios se debe afrontar con un buen conocimiento de la causa que las provoca. No conviene tapar los efectos sin suprimir previamente las causas, ya que con ello podemos ocasionar una degradación no visible de los materiales y, a veces, también agravar el proceso, que tenderá a aparecer, tarde o temprano, afectando áreas mayores después de acumular las sales solubles en la superficie. Estos efectos son, en general, más nocivos en climas cálidos, donde las oscilaciones de humedad y las altas temperaturas facilitan la descomposición química y biológica de los materiales.

Las humedades por capilaridad, en general, son difíciles y/o costosas de reducir. Para atacarlas hay que intervenir modificando las leyes que rigen los fenómenos de la capilaridad. Esencialmente, esto se puede hacer de 4 maneras:

1. Eliminando la causa primera, es decir, reduciendo la humedad del terreno: drenajes, electro-ósmosis, etc.

2. Rompiendo la continuidad del flujo ascensional, lo que se puede conseguir con algunos de estos mecanismos:

- Reduciendo el número de poros (inyecciones de resina)
- Suprimiendo la continuidad del material que ocasiona el flujo: barreras de lámina, método de Massari, etc.

3. Aumentando la velocidad de evaporación, con lo que la superficie en que se establece el equilibrio se reduce: zanjas de ventilación, método Knapen, etc.

4. Invirtiendo el sentido del flujo: electro-ósmosis mural

3.2.2. Reducción de la humedad del terreno

3.2.2.1. Pozos drenantes

Son útiles en los suelos granulares empapados de agua, con ellos, el nivel freático se puede hacer disminuir en buena medida.

Si el terreno no tiene nuevas aportaciones acuosas, con un simple bombeo es posible hacer disminuir el nivel de agua hasta la medida deseada. Si, por el contrario, hay una aportación de fluido, se debe buscar un equilibrio entre el flujo drenado y el flujo aportado al nivel que interese.

Para ello es necesario disponer de suficientes pozos drenantes simétricamente colocados respecto del agua que se quiere secar, pozos con separaciones que suelen fijarse entre los 5 y los 10 m, realizados mediante perforaciones de diámetros entre los 15 y los 30 cm, dentro de las cuales se sitúan tubos drenantes de unos 10 cm de diámetro y cuyo espacio circundante se llena con una grava fina que sirve de filtro y evita la obstrucción del pozo.

El tubo filtrante suele ser de acero de 2 a 5 mm de espesor, trepanado con agujeros, protegidos por la parte exterior con mallas de tela metálica de estaño o cobre con un calado adecuado a la granulometría del suelo.

El problema del atasco es realmente difícil de corregir cuando hay presencia de arcilla o limos, ya que la bajada de la cota del nivel freático sólo se consigue, en los casos de aportación continua de agua, con el funcionamiento permanente de las bombas extractoras.

Los filtros señalados deben permitir que las velocidades de drenaje no sean demasiado altas con el objeto de impedir, en la medida de lo posible, el arrastre de finos. Los valores de la velocidad de entrada en los tubos vendrá determinada por el fabricante.

3.2.2.2. Método del vacío

El sistema Wellpoint se aplica a terrenos de arena fina con limos que tienen partículas de diámetro entre 3 y 30 micras. En estos suelos el agua queda retenida, por lo que hay que forzar su flujo hacia el drenaje todo sometiéndolo a una presión de vacío para conseguir la succión del líquido. Los tubos filtrantes suelen tener diámetros pequeños (de 4 a 6 cm) y se introducen en el terreno clavándolos allí o inyectando a través de una vaina recuperable; las depresiones que se suelen aplicar suelen girar en torno a 0,6 y 0,9 atm.

La desecación producida suele tener un radio de acción reducido, en torno al medio metro, por lo que los tubos deben introducirse bastante juntos, separados como mucho por una cuadrícula de 1m de costal.

Tanto en un método como en el otro, para controlar la estabilidad del nivel freático se suelen colocar interruptores automáticos que cierran el circuito eléctrico cuando el agua del subsuelo alcanza la cota prefijada.

3.2.2.3. Electro-ósmosis

El fenómeno se basa en las propiedades eléctricas de las disoluciones coloidales. Si se pone una de estas soluciones en un tubo en forma de U y se introduce en cada lado un electrodo con corriente continua, se observa que la disolución coloidal se desplaza hacia uno de los dos polos de manera análoga a como lo harían los iones.

Cuando se trata de una pasta, sólo una parte insignificante se traslada al electrodo, mientras que el agua, por un proceso de ósmosis que se origina a través de los poros de la misma pasta, presenta una tendencia más grande a hacer este desplazamiento. Entonces se produce el electro-ósmosis, es decir, el acercamiento del líquido hacia el electrodo negativo.

En los suelos arcillosos los flóculos actúan como membranas semipermeables y se inicia así su desecación. Para conseguir la desecación de suelos, se clavan los tubos en el terreno de radio R y longitud L, separados por una distancia S y situados en filas paralelas, que dejan en medio la zona a desecar. Entonces se somete cada lado a unas potencias U de corriente continua y se deja actuar.

3.2.3. Ruptura de la continuidad del flujo ascendente

(Estos procedimientos pueden aplicarse tanto a terrenos como a elementos estructurales.)

3.2.3.1. Impermeabilización del terreno por inyecciones

El método suele ser complejo y bastante costoso. En resumen, consiste en introducir en el terreno sustancias que obstruyan los poros todo inyectando a presiones elevadas mediante conductos metálicos clavados en el suelo. Se usan suspensiones tixotrópicas de cemento y arcillas, emulsiones bituminosas, resinas, etc.

3.2.3.2. Impermeabilización de paredes por inyecciones

Este procedimiento no siempre da resultados óptimos debido a varias razones:

1. La porosidad en general reducida de los materiales de construcción.

2. La aplicación bajo presión de los derivados silicónicos, según la ley de Darcy, tienden a llenar antes las fisuras, cavidades y poros grandes, de modo que el sistema capilar más fino queda sin incluir, y ya hemos visto que los fenómenos de ascensión capilar eran más importantes cuando había poros más finos.
Esto se suele solucionar haciendo que el hidrofugante también entre en la masa muraria por capilaridad, lo que se consigue colocando pipetas con las bocas empotradas en la pared y dejando que el silicato penetre.
Como inconveniente hay que decir que se suelen producir evaporaciones importantes en el disolvente, de manera que la sustancia aportada se vuelve más viscosa y, por tanto, menos penetrante.

3. La existencia de grietas, fisuras, bolsas vacías, etc., exige un control cuidadoso de las boquillas de inyección, con la colocación de manómetros que hay que ir leyendo continuamente, a fin de evitar pérdidas innecesarias del material inyectado, que suele ser caro.

4. Hay que colocar las bocas de inyección con separaciones adecuadas, de manera que los cilindros del paño interior que se forman alrededor de las sondas se intersecten y formen una barrera eficiente.

Los hidrofugantes silicónicos son los que consiguen unos mejores resultados, ya que reducen hasta un 70 % la absorción del agua. Las presiones de inyección no suelen superar 1 o 2 Kp/cm2, y es aconsejable no introducir presiones superiores a las tensiones de trabajo del material, y aún menos, favorecer la formación de bolsas a presión que pueden reventar las partes más débiles de la pared. Este procedimiento resulta muy apropiado en fábricas de ladrillo macizo o de mampostería con juntas regulares de argamasa. Es decir, en buena parte de las construcciones históricas y monumentales.

3.2.3.3. Barreras impermeables de placas metálicas

Este es un sistema tradicional de impermeabilización de paredes que consiste en colocar placas continuas de plomo, zinc, etc. En ranuras abiertas al pie del pared. Antiguamente estas operaciones se hacían por tramos cortos alternos de modo que en algunas pasadas consiguiera la superposición del impermeabilizante, actualmente el sistema se ha simplificado gracias al uso de sierras eléctricas que cortan la pared.

Presenta varios inconvenientes que cabe señalar:

1. El sistema sólo es posible en construcciones estructuralmente muy bien resueltas, es decir, en edificios hechos a base de paredes de carga con rigidizadores en varias direcciones.

2. No siempre es viable, ya que hay que prever la aparición de asentamientos diferenciales que pueden afectar incluso la rotura de las paredes por la aparición de fisuras de asentamiento.

3. Las láminas de plomo no suelen dar buenos resultados a largo plazo, ya que la estabilidad de este material se basa en la formación en la superficie de una capa delicada de carbonato de plomo y a menudo las sales disueltas en el agua del terreno pueden descomponerla y llegar a destruirla a medio plazo (figura 3.3).

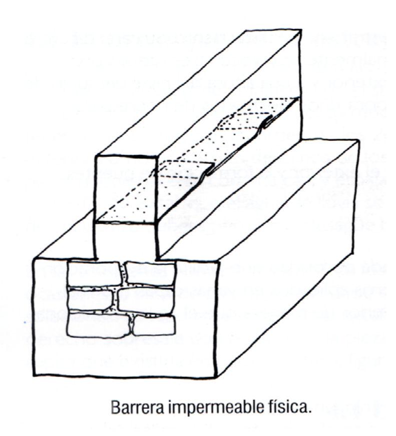


Figura 3.3. Barrera con láminas impermeables. Según Munilla-Lería.

3.2.3.4. Barreras impermeables con cilindros de silicona

Este sistema es realmente efectivo, pero presenta un inconveniente grave: un coste elevado.

Consiste en realizar dos o tres series de perforaciones alternas y paralelas, perpendiculares a la pared, que son llenadas sucesivamente con resinas silicónicas especiales que pueden soportar las cargas del edificio. Al final del proceso, la pared queda del todo cortada por los cilindros de silicona, que deben colocarse de manera que las series sucesivas de agujeros estén tan próximas que permitan la intersección de sus volúmenes (figura 3.4).

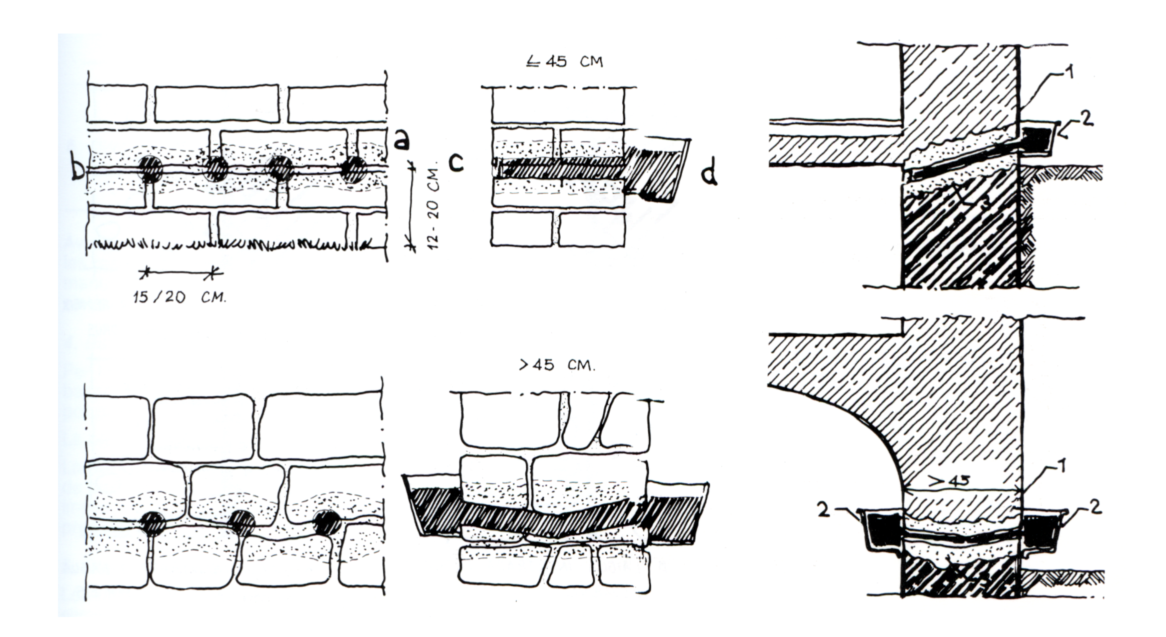


Figura 3.4. Barrera con cilindros hidrorepelentes. Según Munilla-Lería.

3.2.4. Aumento de la velocidad de evaporación

3.2.4.1. Zanja de ventilación en los cimientos

Consiste en abrir una zanja a lo largo de los cimientos que los separe de los terrenos circundantes. Conviene limpiar y sanear la fábrica con morteros permeables de cal para favorecer la evaporación.

Las zanjas se suelen cubrir con rejillas discontinuas que permitan la ventilación del interior. En cualquier caso, hay que tomar las medidas adecuadas para que no penetre el agua de lluvia.

3.2.4.2. Aireamiento con cámaras de ventilación

Colocando un tabique delante de la pared que se quiere secar se puede conseguir reducir el contenido de humedad si se asegura una circulación efectiva del aire frío desde su base hasta las partes altas.

El sistema presenta varios inconvenientes:

1. Cubre las fábricas originales, por lo que no suele ser adecuado para edificios monumentales.
2. Esconde los efectos de la humedad y no deja ver los resultados obtenidos.
3. Cuando las paredes son demasiado gruesas, seca tan sólo una cara del paramento, y a veces no consigue ni eso.

3.2.4.3. Método Knapen

Una buena disposición de las perforaciones es el resultado de efectuar dos o tres filas de agujeros en portillos, con una pendiente ligera hacia el exterior, ya que así se aseguran dos efectos:

1. Que el aire interior de los tubos, mucho más saturado que el aire ambiente, por tener más peso específico, salga y favorezca la ventilación y renovación del aire seco que puede recibir nuevas aportaciones de vapor de agua.
2. Que, en caso de producirse condensaciones en las paredes de los tubos (lo que puede ocurrir durante los primeros días de poner en marcha el sistema), el agua pueda deslizarse hacia afuera.

Este método presenta la ventaja de actuar como un efecto doble:

a) Secado interior de la pared: por la evaporación del agua absorbida a través de los tubos de cerámica porosa que se introducen en las perforaciones.
b) Rotura del flujo: el secado se produce por medio de cilindros más o menos regulares (la regularidad depende de la composición de las fábricas y de su isotropía), los ejes de los cuales son precisamente los de las perforaciones. Si estos cilindros secados logran intersectarse, la red capilar se romperá y el flujo ascendente quedará interrumpido. Como norma práctica, señalamos que conviene colocarse en doble fila, formando pequeños triángulos equiláteros con separaciones aproximadas y no más grandes que:

$$s = 0,7 / a \qquad s < 0,75 \text{ m}$$

donde *a* es el grueso de la pared.

El mayor inconveniente que presenta este sistema es el derivado de la presencia de sales en el agua transportada por la red capilar. A los pocos años la superficie de evaporación de los tubos queda obstruida por las eflorescencias y las sales precipitadas debido a la evaporación del agua que las transportaba (figura 3.5).

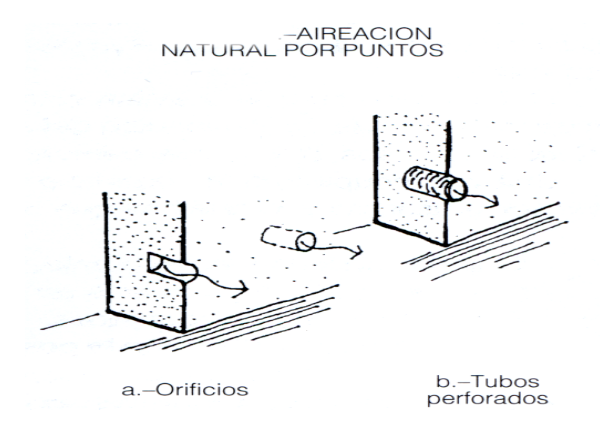


Figura 3.5. Ilustración del método Knapen. Según Munilla-Lería.

ISBN: 978-84-17429-28-7

DOI:http://dx.doi.org/10.6035/Sapientia144

3.2.4.4. Inversión del flujo

El procedimiento más eficaz para invertir la dirección del flujo consiste en aplicar una carga eléctrica entre dos pares de electrodos y producir el electro-ósmosis.

3.2.4.4.1. Electro-ósmosis mural activa

Normalmente se realiza colocando una cinta o un conductor de cobre desnudo situado en una o en ambas caras de la pared, al que se aplica el polo positivo del convertidor. Las cargas negativas se aplican al terreno, normalmente mediante picas clavadas verticalmente y, si es posible, registrables. Con el tiempo, por efecto de la electrólisis, el cátodo termina destruyéndose y hay que sustituirlo.

El sistema presenta alguna dificultad, más aparente que real: hay que tener una fuente de suministro de energía eléctrica continua a baja tensión que se puede obtener a partir de la corriente alterna de la red del edificio, transformado y restituido con un pequeño aparato de muy poco coste. Con una perfecta instalación, el grado de secado de las paredes puede llegar a dejar un residuo de humedad en el material de alrededor del 5 % de su volumen.

El potencial eléctrico que se suele aplicar gira en torno a los 8 o 10 voltios, y se consiguen intensidades de circulación que son del orden de dos miliamperios, por lo que, tanto el amperímetro como el voltímetro que quieran instalar deben tener estas capacidades de lectura. Además, en la pared se seca crece la resistencia eléctrica y el proceso se ralentiza al disminuir aún más la intensidad. Por todo ello conviene instalar también un potenciómetro capaz de ajustar las diferencias de potencial.

Los inconvenientes más importantes del sistema son dos:

1. Que exige una cierta labor de seguimiento a fin de controlar no tan sólo los aumentos de resistencia eléctrica de la pared, sino también la sustitución de los cátodos cada cierto intervalo de tiempo que, en teoría, es calculable una vez conocidos los parámetros eléctricos medios que actúan.

2. Su aplicación implica la existencia continua de un suministro eléctrico, y la mayoría de las veces son los mismos propietarios los que acaban apagando o encendiendo de manera intermitente los interruptores, sobre todo cuando ven un piloto de señalización constantemente encendido.

3.2.4.4.2. Electro-ósmosis mural pasiva

Este procedimiento raras veces funciona.

4. La humedad por filtración

Al ser también una lesión común en nuestras edificaciones, dado el carácter poroso de los materiales empleados, conviene estudiar las soluciones en función del tipo de filtración. Por ello, analizaremos los distintos casos con el objeto de eliminar la causa que produzca la lesión.

4.1. *En cubiertas planas*

Localizada la zona afectada por la perforación, se repone la membrana impermeable en toda ella teniendo que llegar hasta una limatesa o una junta de dilatación para evitar que, a pesar de soldar la nueva tela haya filtraciones entre ellas, ya que no es necesario arrancar la anterior, ni conveniente, ya que suele ofrecer un buen soporte.

Las roturas pueden haberse producido por punzonamiento al acceder a la cubierta para su mantenimiento. Entonces, además de reponer la membrana, conviene establecer unos «pasos de mantenimiento» mediante algún tipo de pavimento que no pueda perjudicar a la membrana que está debajo.

- Baldosas de mortero aligerado sobre «colchón» de espuma de poliéster que además sirven de protección contra el sol y otras inclemencias.
- Planchas de aislante hidrófugo (poliestireno extrusionado, por ejemplo) y baldosas filtrantes encima.
- La gravilla como elemento protector puede provocar punzonamiento. Lo que se puede evitar fácilmente con un geotextil adecuado.

Cuando se trate de una cubierta ajardinada, la solución más segura es la ejecución de una cámara de aire ventilada por encima de la membrana, para reducir su grado de humedad y evitar que las raíces se dirijan hacia ella (figura 4.1).

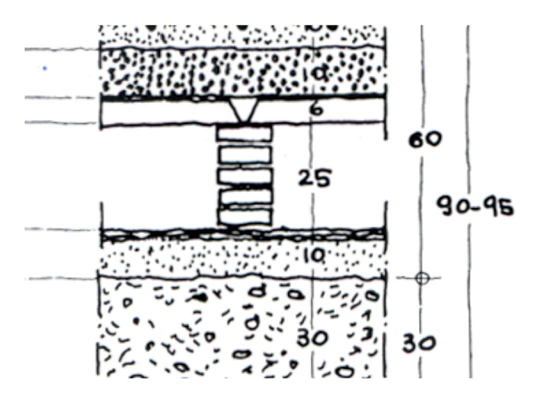


Figura 4.1. Cámara de aire ventilada en cubierta. Según Casanovas, Xavier y Josep María Moreno. 1993.

ISBN: 978-84-17429-28-7

DOI:http://dx.doi.org/10.6035/Sapientia144

La incorporación de cámaras de aire es una buena solución en cualquier caso, siempre que las condiciones existentes lo permitan. Deberán cumplir las exigencias de ventilación indicadas en el CTE.

Si la rotura se ha producido por desgarro debido a variaciones térmicas, debemos introducir las juntas de dilatación necesarias según estudio en proyecto, junta que debe practicarse, en primer lugar, en el propio tablero soporte, si no lo había, y después en la aplicación de la propia membrana, según lo especificado en el CTE.

Cuando la rotura es en el borde de la membrana, en su pliegue hacia arriba, suele haber una disposición errónea de la tela en dicho borde, sin dejarla independiente del peto o paramento vertical.

Si el problema está en el solape vertical, filtrándose el agua entre membrana y peto, deberemos revisar dos aspectos.

En primer lugar, el propio drenaje, ya que la causa puede estar en su obstrucción y una excesiva acumulación de agua en la cubierta, cuyo nivel rebasa el del solape de la membrana. Entonces habrá que proceder a una limpieza del sistema de sumideros y bajantes, asegurando su mantenimiento periódico, así como la existencia de rejillas en las bocas de los sumideros para impedir la entrada de suciedad en los mismos.

En segundo lugar, la propia ejecución del solape en el que, seguramente, se habrán cometido alguno de los tres errores siguientes:

- Falta de protección superior fundando la estanquidad en la adherencia entre los dos materiales, adherencia que acaba desapareciendo por la acción de los rayos ultravioletas.
- Falta de independencia respecto al peto o paramento vertical de que se trate.
- Inclinación del solape paralela a la del faldón, con su parte más baja junto al sumidero.

Nuestra actuación se debe encaminar a anular las tres causas, protegiendo la unión con algún tipo de babero empotrado en el peto si por la escasa dimensión de la cubierta no necesitamos independencia o, ejecutando un mimbel para independizar la membrana del peto si la dimensión es importante, o corrigiendo la línea superior del solape para que se mantenga horizontal, quedando mayor altura en la parte inferior del faldón, sobre el sumidero.

Por último, si el problema está en la ausencia de membrana bajo el pavimento, no cabe duda que la reparación exija ponerla, bien levantando el pavimento y reponiéndolo después, bien aprovechando éste como base para la nueva impermeabilización y un nuevo pavimento.

4.2. *En cubiertas inclinadas*

Si se trata de un problema de solape insuficiente habría que ver si este es general o puntual. Si es general, no habrá más remedio que retejar. Al hacerlo, comprobaremos las pendientes y analizaremos si sea recomendable una membrana impermeable previa, según las sugerencias de «prevención», o es suficiente un aumento del solape con el consiguiente aumento en el número de tejas.

Si estamos ante roturas puntuales, muy corrientes en limatesas por estar más expuestas, y en algunas limahoyas y aleros, la actuación se concentrara en esos puntos, aunque asegurando su resolución a base de ampliarla lo suficiente.

En este sentido, cabe observar que la mayoría de los problemas de los canalones y bajantes parte de la falta de limpieza periódica de los mismos, que en una cubierta inclinada suele ser corriente por la dificultad de acceso. Entonces, la acumulación de suciedad, hojas y tierra va produciendo atascos y desprendimientos que favorecen las humedades accidentales y de filtración.

Por último, los problemas de filtración más corrientes aparecen en los encuentros con paramentos verticales y en canalones ocultos. Entonces, la actuación estará localizada en el punto conflictivo, reponiendo el elemento impermeable destinado a recoger y canalizar el agua.

4.3. *En fachadas*

Según las distintas localizaciones (ver figura 4.5).

a) En los remates superiores (cornisa y petos de terraza):

Si la albardilla es de mortero; atenderemos la porosidad

Si es de elementos prefabricados: atenderemos las juntas

*El retacado de las juntas con mortero de cemento, bien expansivo, bien de resinas, o bien a su sellado con productos elastómeros, en función de las condiciones climáticas y el tipo de albardilla. En estos casos, además de lo anterior será conveniente introducir juntas de dilatación periódicas, abriéndolas con una radial y sellándolas posteriormente.

b) En los relieves (molduras en general, balcones, etc.): atenderemos rincones o juntas constructivas.

c) En los huecos de ventana tenemos tres puntos conflictivos: atenderemos el vierteaguas, el dintel y las juntas, practicables y no practicables, de las carpinterías.

d) En los paños ciegos: atenderemos la porosidad

* En los casos de nuevos acabados continuos o de piezas, hay que asegurar que su succión es inferior a 0.45 gr/cm^2 x min en clima seco, y a 0, 20 gr/cm^2 x min, en clima húmedo.

Para paliar este problema, sobre todo en casos de materiales «vistos» que se quieren conservar (ladrillo, piedra, etc.), podemos recurrir a los productos hidrofugantes.

e) En grietas o fisuras: atenderemos la filtración directa

* En cualquier caso, para su reparación conviene limitar el módulo de elasticidad de los morteros a emplear y así evitar su fisuración, a valores inferiores a 6.000 MPa en clima suave, ya 4.000 MPa en clima extremo.

f) En los balcones con peto de obra: ver cubiertas planas.

4.3.1. Humedad de agua de lluvia y el paramento

La humedad puede ser provocada bien por acción directa del agua sobre los materiales empleados o bien por causas indirectas.

Entre las causas de infiltración directa están:

- Las fisuras del revestimiento que pueden haberse producido por asentamiento de los edificios en el tiempo. Pueden haber aparecido en la época de la construcción, y se trata entonces de fisuras inertes o, al contrario, tener un origen mucho más reciente, por ejemplo debido de vibraciones, procedimientos u otros y deben vigilar, por tanto, con especial atención como síntomas de «malestar» general del edificio. (Figura 4.2).

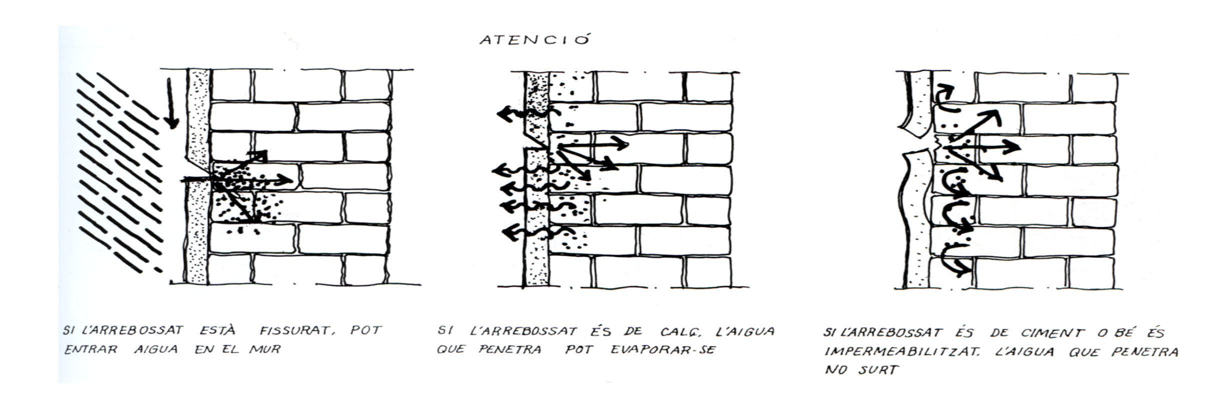


Figura 4.2. Penetración de agua de lluvia. Según Munilla-Lería.

- Separación entre materiales de características diferentes: Este problema se detecta con más frecuencia entre las estructuras portantes y los rebozados, o bien entre las estructuras verticales y horizontales de los muros y el resto de la pared (generalmente hecha de un material de calidad inferior).
- La degradación del mortero: Este deterioro puede ser causado bien por una porosidad excesiva debida a una equivocada composición del mortero, o bien por la disgregación del propio mortero. El estancamiento del agua en las juntas del mortero puede ser el origen de una degradación generalizada de la pared (figura 4.3).



Figura 4.3. Microporosidad de la fábrica frente al agua de lluvia.
Según Munilla-Lería.

- Los defectos de los revoques: Nos referimos a los defectos de composición del revoque y los defectos de falta de adherencia entre revestimiento y soporte.

La composición del revoco juega un papel fundamental para proteger la pared del agua, en este sentido hay que recordar que la función de un rebozado consiste en permitir la evaporación del agua de la pared, por lo que un revestimiento impermeable al vapor de agua puede presentar graves inconvenientes (figuras 4.4).

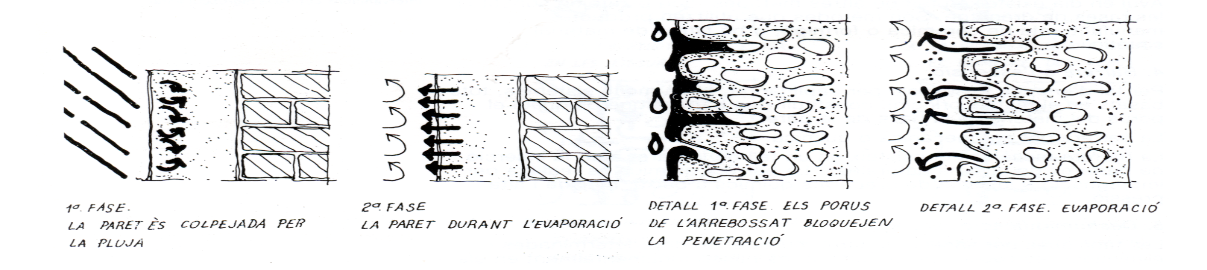


Figura 4.4. Efecto de la ausencia o presencia de revestimientos impermeables.
Según Munilla-Lería.

- Los defectos de unión entre la carpintería y las paredes: afectan a la estanqueidad de la parte empotrada en su unión con la pared.

Las infiltraciones directas de agua de la lluvia pueden clasificarse en dos categorías diferentes:

— Las infiltraciones debidas a causas puntuales, como son fisuras o defectos de estanqueidad.
— Las infiltraciones debidas a defectos globales del edificio, como son un grosor insuficiente de las paredes o una degradación generalizada del revoco.

Además de la acción directa de la lluvia batiendo a las fachadas de los edificios, la lluvia puede producir otros tipos de infiltraciones derivadas de acciones indirectas.

Estas infiltraciones que provienen del suelo son intermitentes y ligadas a las precipitaciones atmosféricas, si bien con un cierto desfase, debido al papel de intermediario del terreno.

El grado de humedad presente en el espesor de la pared es decreciente, del interior al exterior (la humedad máxima se sitúa en la zona de contacto con el terreno impregnado de agua) y también es decreciente de arriba abajo. Por tanto, es inversa la relación que se obtendría en el caso que la humedad fuera ascendente, proveniente de los cimientos.

En conclusión, las infiltraciones de la lluvia pueden afectar a las fachadas de un edificio en toda su altura, desde los cimientos hasta la cubierta. Cuando sólo afectan a la base de las paredes, hay que observar las partes enterradas porque pueden afectar todas las fachadas y no sólo las expuestas a la lluvia batiente. Es muy importante no confundir este tipo de humedad con la ascensión capilar porque la solución es totalmente diferente.

5. La humedad por condensación

5.1. *Introducción*

Para disponer de un edificio en condiciones, además de proteger de la humedad directa los distintos componentes, se deben eliminar todos los fenómenos de la condensación en las paredes, tanto la superficial como la interna.

El fenómeno de la condensación, especialmente la interna, es mucho más extenso ahora que antes. Esto se debe principalmente al uso erróneo de nuevas técnicas de construcción y en especial al uso de paneles aislantes mal calculados o mal distribuidos. Para verificar si existe el riesgo de condensación en una pared, es

necesario conocer la evolución de las presiones parciales y la distribución de las temperaturas en el interior de la pared. Se puede llevar a cabo una verificación preliminar en correspondencia con las discontinuidades térmicas, o con las superficies de separación de materiales diferentes, si en estas zonas se verifican variaciones bruscas, tanto de temperatura como de presión. Por lo tanto, se calcularán las presiones parciales en estos puntos.

Se trata, como hemos visto, de un tipo de humedad algo especial, ya que tienen que confluir, para que aparezca, varios factores físicos, concretamente la presión de vapor suficientemente alta y la temperatura suficientemente baja, ambas en la superficie o el interior del cerramiento, en un momento dado, de tal manera que la humedad pueda aparecer de repente donde antes no la había, lo que hace que la humedad pueda aparecer de repente donde antes no la había, lo que hace que, si no se ha estudiada previamente, resulta difícil de predecir a simple vista.

Consideraciones iniciales

Para la verificación de una estructura, en relación con el riesgo de condensación, hay que controlar especialmente las zonas donde hay puentes térmicos. Al ser zonas de menor resistencia térmica, tienen una temperatura más baja en posiciones donde la presión de vapor parcial puede ser aún alta.

La condensación en las paredes se puede evitar con una correcta construcción y, en especial, con una cuidada inserción de la capa de aislante. Desde el punto de vista del aislamiento térmico -en periodo estacionario de transmisión del calor- el emplazamiento de la capa aislante no tiene influencia en la protección térmica, dado que desde el punto de vista de la condensación es determinante.

Además, cabe recordar que las propiedades térmicas empeoran con el aumento de la humedad en los materiales.

Las paredes y las cubiertas merecen una atención especial. En muchos de estos elementos es necesario —para impedir la entrada de agua— una barrera de vapor cerca de la capa exterior, en base a un estudio cuidadoso del problema de la condensación, si bien, las barreras de vapor al exterior son fuentes de posibles daños.

5.2. *De la condensación superficial interior*

En estos casos la humedad se aprecia muy pronto, en función del tipo de superficie donde se dé. Si es pulida, se forman directamente las gotas de agua.

Si por el contrario, es porosa, el agua que se condensa se aleja directamente en los poros y tarda algo en notarse, hasta que se forma una mancha de humedad, aparecen mohos o se desprecia la pintura. En cualquiera de los casos, aparecen dos

líneas distintas de actuación: evitar que haya condensación o preparar la superficie para que el agua no produzca lesión en ella.

a) Para evitar que haya condensación tenemos, a su vez, dos caminos:

- Aumentar la temperatura superficial interior del cerramiento (ti)
- Disminuir la presión de vapor de agua del local (Pv).
- Preparar la superficie del cerramiento para la posible condensación.

a-1) Para aumentar la temperatura superficial interior, podemos recurrir a métodos constructivos (que podríamos denominar pasivos) sin más que aumentar el coeficiente de aislamiento del propio cerramiento.

Para ello debemos considerar si la humedad se relaciona con:

- Paños ciegos
- Paño-estructura: puente térmico

En función de estas consideraciones, los sistemas de reparación más adecuados son:

a.1.1) Aplicación de una hoja exterior de material existente, de forma continua, o puntual sobre los puentes térmicos, siempre que podamos variar la imagen exterior del edificio y en función de las condiciones climáticas que queramos resolver.

a.1.2) Relleno de la cámara de aire con espuma, siempre que el cerramiento disponga de dicha cámara vacía y que el estudio del gradiente de temperaturas confirme esta posibilidad como positiva.

En cualquier caso, esta solución no anula los puentes térmicos. Por otra parte, no es fácil asegurar la uniformidad del reparto de la espuma y, por consiguiente, del coeficiente de aislamiento.

a.1.3) Colocación de planchas aislantes por el interior del cerramiento, solución menos recomendable. Esta solución solo aísla, el vapor de agua seguirá hasta la vieja superficie.

a-2) Para disminuir la presión de vapor de agua del local, sólo nos queda como recurso el disipar dicho vapor mediante la ventilación natural o mecánica. Esta última supone un control de los usuarios que no siempre se da.

Se trata de asegurar suficiente paso de aire:

a) Para las zonas climáticas A y B: 50 $m^3/h\ m^2$.

b) Para las zonas climáticas C, D y E: 27 $m^3/h\ m^2$.

En la práctica esto puede exigir el cambio de las carpinterías o la otra alternativa, la colocación de rejillas. Otra opción puede ser la de emplear deshumidificadores, tanto de condensación como de sales higroscópicas, que resultan aparatos discretos y que sin embargo, pueden obtener una reducción efectiva de la humedad ambiente en el local.

b) Para preparar la superficie del cerramiento para la posible condensación, básicamente, se trata de disponer de una superficie pulida e impermeable que no se vea afectada por el agua que se condensa sobre ella y que permita su secado y limpieza con relativa facilidad.

Naturalmente esta actuación se debe acometer cuando no se puede anular por las vías anteriores. En algunos casos de cámaras interiores o medianerías, cuando el problema afecta a los materiales constitutivos de los muros, tenemos que introducir una «canaleta» de recogida de dichas aguas en la parte interior del paramento de escorrentía.

Cabe mencionar aquí el buen uso que se hace en climas secos de los acabados continuos de yeso (guarnecidos y enlucidos) por su alto poder higroscópico. En efecto, los acabados de yeso tiene la capacidad de absorber la humedad del ambiente en forma de vapor de agua, y retenerla hasta que aquella baja y la vuelven a ceder. Este hecho, que resulta práctico en climas secos mientras la presión de vapor no es excesiva, suele ser inútil en los climas húmedos donde el propio acabado de yeso ya está saturado con la humedad ambiente normal, con lo que queda anulada la regulación.

5.3. *De la condensación intersticial*

En este supuesto la «tr» se alcanza en un punto interior del espesor del cerramiento y el síntoma no es tal hasta tiempo después.

Podemos actuar a través de tres caminos:

- Aumentar la temperatura general en el interior de la sección del cerramiento (que la gráfica del gradiente de temperaturas tenga curva tura convexa hacia arriba).
- Disminuir la temperatura de rocío en la misma sección (curvatura convexa hacia abajo) para lo cual deberemos disminuir la presión de vapor de agua.
- Disipar el vapor de agua dentro del cerramiento hacia el exterior donde se produce la condensación.

a) Para aumentar la temperatura general del cerramiento deberemos aumentar su coeficiente de aislamiento lo mas al exterior posible, añadiendo aislante por su cara externa. Sin embargo, nunca podremos resolver el problema añadiendo aislamiento por el interior.

b) Para disminuir la presión de vapor de agua, tendremos varios caminos. El más directo, el del aumento de la ventilación, o también el empleo de las barreras de vapor, que corta el paso del mismo al interior y provoca, por tanto, un descenso de la temperatura de rocío

Dicha barrera, no obstante, provoca una acumulación de vapor de agua delante de ella que puede llegar a producir la condensación superficial. Por ello, antes de aplicarla debemos estudiar bien los mencionados gradientes y conocer la permisividad al paso de vapor de agua de la barrera que vamos a poner.

c) Fachadas y cubiertas ventiladas (cámara de aire exterior) introducir una cámara de aire en el interior del cerramiento, ventilada hacia el exterior que disminuye la presión de vapor.

En el caso de fachadas, si se admite cambiar su imagen podemos colocar por fuera una nueva hoja separada que sea resistente a los agentes exteriores.

En las cubiertas también podemos ir a una solución a base de dotar a la antigua cubierta con problemas de condensación (normalmente una cubierta «caliente») de una capa superior que deje una cámara ventilada hacia afuera.

5.4. *De la condensación higroscópica*

Para eliminar este tipo de condensación habría que deshacerse de las sales higroscópicas contenidas en el acabado del cerramiento en cuestión. Para ello podremos seguir dos métodos diferentes.

- El primero, más dramático, consistirá en eliminar la capa de revoco que aloja las sales a base de una demolición y saneado. En cualquier caso, habría que comprobar que no queda rastro de sales, para lo cual podremos provocar vapor de agua cerca del cerramiento y medir la humedad en el paramento.
- El segundo método es más complicado y deberemos utilizarlo cuando no podamos eliminar el acabado afectado por algún motivo histórico o artístico. Procederemos entonces a base de algún sistema controlado de humedad mediante apósitos o algún producto secante como arcillas, fieltros, etc.

En cualquier caso, antes de estas actuaciones debemos asegurarnos que ya no van a aparecer más sales higroscópicas, que puedan alojarse en su cerramiento, provenientes de humedades de capilaridad o de filtración, mediante la anulación previa de las mismas.

5.5. *El caso particular de las eflorescencias*

Las infiltraciones de agua en los muros y las ascensiones capilares tienden a transportar sales disueltas que provienen de la atmósfera y/o de dentro de las paredes y/o del terreno.

Cuando el agua se evapora, estas sales se depositan en los capilares o son transportadas al paramento y cristalinas analizan.

La cristalización puede ser interior o exterior. Si permanecen en el exterior del muro, las eflorescencias no provocan daños importantes, como máximo pueden causar una cierta disgregación superficial de los materiales más blandos.

En cambio, si se forman en el interior del muro pueden producir daños muy importantes, incluso la separación del paramento exterior.

Las sales que más frecuentemente hay en estos fenómenos son:

- El sulfato de sodio y de magnesio, que se encuentran entre los componentes de la pared.
- El nitrato de sodio, de potasio o de calcio, que se encuentran en el terreno (especialmente cuando cerca del edificio hay una descarga orgánica o cuando una alcantarilla pierde), o bien en el agua de las capas freáticas contaminadas.

Las eflorescencias compuestas por sulfatos pueden aparecer en cualquier parte de las paredes, siempre que sea una zona afectada por una evaporación de la humedad.

En cambio, las eflorescencias compuestas por nitratos, sólo pueden formarse en la base de los muros, porque provienen tanto de infiltraciones de agua de lluvia como de las ascensiones capilares.

Determinadas paredes de ladrillos muy a menudo presentan eflorescencias aisladas compuestas por sulfato de calcio (yeso) y son una expresión de la calidad de la arcilla, de la pureza del agua y de la temperatura de cocción. Es sabido que los ladrillos bien cocidos no contienen sales de eflorescencias.

5.5.1. Reparación

Una vez cortado definitivamente el flujo de agua, y sólo entonces, podremos proceder a eliminar la eflorescencia, lo que supondrá la desaparición de los cristales de sal de la superficie del cerramiento.

Para ello tenemos varios sistemas de «limpieza» en función de dos factores:

- Tipo de sal cristalizada y su solubilidad.
- Tipo de material sobre el que ha cristalizado

Los sistemas de limpieza normalmente utilizados pueden ser agrupados en naturales, químicos y mecánicos.

5.5.1.1. Limpieza natural

Consiste en la disolución de los cristales eflorescibles en agua, proyectando ésta, bien a chorro, a mayor o menor presión, bien pulverizada, y pasando a continuación un cepillo de cerdas más o menos resistentes en función del tipo de sal.

Naturalmente, para utilizar este sistema es necesario que la sal cristalizada sea soluble en agua como condición «sine qua non». En cualquier caso, el resultado de esta disolución puede ser más o menos fluida, lo que condicionará la dureza del cepillo.

Por otra parte, hay que tener en cuenta el coeficiente de absorción del material de cerramiento para seleccionar la forma de aplicación del agua, a la vez que la cantidad de ese líquido necesario para la absorción. Para los menos porosos, podremos utilizar mayor cantidad de agua o mayor presión, siempre que el tipo de sal lo requiera.

Cabe mencionar el hecho de que este tipo de limpieza natural (y de ahí el nombre) se produce espontáneamente en muchos casos, mediante la propia agua de lluvia que facilita la disolución y el arrastre superficial de la sal, dificultando después su recristalización al disminuir la proporción de dicha sal. El problema de este proceso natural es que no se controla la absorción superficial, por lo que pueden producirse nuevas eflorescencias y establecerse un sistema cíclico de lesión-limpieza.

5.5.1.2. Limpieza química

Cuando la sal cristalizada no se disuelve directamente con agua, necesitamos la ayuda de algún producto que facilite la disolución; entramos, entonces, en lo que llamamos limpieza química.

Antiguamente, el producto más utilizado era el vinagre, en una solución del 10 %, que, con su ácido clorhídrico, facilitaba la disolución de las sales, sobre todo sulfatos. En la actualidad, se usa directamente el acido clorhídrico en la misma proporción, o más modernamente, productos disolventes especiales, adaptados a las diferentes sales, según su solubilidad. Por ello, antes de actuar con la limpieza conviene conocer químicamente la sal eflorescida.

Una vez en posesión de los datos, el proceso de limpieza es muy similar al natural, mediante aplicación del disolvente en forma de chorro o pulverizado, el cepillado, en función de la fluidez o dureza de la sal diluida y, en este segundo caso, lavado, ahora natural, para asegurar que no han quedado rastros del disolvente en los poros superficiales del cerramiento.

Todo ello implica una mayor abundancia de agua y, por tanto, mayor peligro de absorción, lo que podría facilitar nuevas eflorescencias, por lo que, en este caso, resulta imprescindible el acelerar el secado superficial.

En cualquier caso, y por si nos pudieran quedar restos de disolvente en los poros superficiales, es importante realizar un análisis químico previo de la compatibilidad, o posible interacción, del disolvente con los componentes mineralógicos del material del cerramiento y procurar que no exista dicha interacción o que, de haberla, sea inocua.

De lo contrario debemos buscar otro disolvente.

Este tipo de limpieza, y el natural, son los que se vienen empleando para la llamada «limpieza final de obra», previa a su entrega, que afecta a la fachada cuando hemos empleado materiales de posible eflorescibilidad. Recordemos que una eflorescencia por humedad de obra es casi inevitable y debe eliminarse antes de la entrega del edificio.

5.5.1.3. Limpieza mecánica

En algunas ocasiones (pocas) la sal que se ha recristalizado forma costras más o menos duras y difíciles de disolver, como vimos en el caso del sulfato potásico (SO_3K_2). Entonces deberemos recurrir a medios mecánicos para eliminarla.

No cabe duda que resulta un procedimiento delicado, que sólo debe ser utilizado por especialistas para asegurarnos de que la eliminación mecánica se limita a la capa de sal y no afecta al material superficial del cerramiento, lo cual resulta sumamente difícil, incluso con la ayuda de las herramientas eléctricas actuales.

El tipo de herramienta estará en función de la dureza de la costra y de la costumbre del operario, pero son muy variadas, fluctuando desde un simple cepillo de púas metálicas hasta la bujarda, como sistemas manuales, o entre cepilladoras y bujardas eléctricas, entre las automáticas, o incluso, chorreado con distintos materiales más o menos duros.

5.5.1.4. Protección posterior

Cualquiera de estas técnicas de limpieza, y sobre todo la mecánica, afectan inevitablemente a la estructura superficial del material de fachada y, por tanto, a su porosidad y características físicas consecuentes.

Con estos considerandos, es aconsejable proceder a un tratamiento superficial posterior que permita la impermeabilización, por hidrofugación de la cara exterior del cerramiento con el objeto de poder controlar la actuación fisicoquímica posterior de la misma o evitar la nueva entrada del agua de lluvia. Cabe mencionar, no obstante, algunos aspectos a tener en cuenta, aunque tengan carácter general.

El primero de ellos es el hecho de asegurarnos de la limpieza absoluta de la eflorescencia y de la ausencia de penetraciones por absorción de algún producto que pueda reaccionar con los componentes de los materiales. De ser así, se encontrarían con una nueva barrera al intentar salir al exterior, produciendo la consiguiente erosión.

El segundo de esos factores es la importancia de que el sellado hidrofugante sea «de poro abierto» cuando la fachada encierre un local habitable. Ya conocemos los problemas que puede provocar la dificultad en «respirar» de los cerramientos exteriores de ese tipo de locales.

5.5.2. Prevención

En cuanto a la ausencia de eflorescibilidad en los materiales constructivos del cerramiento, las medidas preventivas a tomar son dobles. Por un lado, especificar en el Pliego de Condiciones del proyecto, la calificación de «no eflorescible» de los materiales componentes, sobre todo en el caso de ladrillos, bloques, mampostería y piezas prefabricadas de hormigón.

En los hormigones ejecutados «in situ», exigiremos el cumplimiento de la Instrucción EH en lo que se refiere a contenido de materia orgánica y así como la no eflorescibilidad de los áridos empleados. Si aparece sulfato cálcico como consecuencia de la liberación de óxido cálcico en el fraguado, no tendremos más remedio que asumirlo y limpiarlo, toda vez que ya no debe volver a producirse y, en cualquier caso, se debe proceder a una limpieza general de fachada antes de entregar cualquier obra.

Como segunda medida cabe comentar el error que suelen cometer algunos fabricantes de ladrillo que se preocupan de la no eflorescibilidad de sus productos cuando son «cara vista», pero no cuando van a estar recubiertos de enfoscados y revocos.

No caen en la cuenta que dichas eflorescencias acaban saliendo al exterior a través de esas capas de acabado, con el mismo resultado patológico.

Comoquiera que el mortero de cemento resulta un material prácticamente presente en todos nuestros cerramientos, también deberemos preocuparnos de él.

Para ello, exigiremos el uso de arenas silíceas, o el de calizas sin sales solubles, y la certificación de que los posibles aditivos no provocan eflorescencias. Este último hecho convendrá comprobarlo mediante ensayos. De aparecer $S0_4$ Ca_2 como en los hormigones, deberemos recurrir, también, a la limpieza inicial.

En definitiva: ausencia de humedades y ausencia de sales solubles. De hacerlo así, podremos asegurar que no tendremos problemas de eflorescencias.

6. Humedades por filtración y condensación

6.1. *La proliferación de vegetales*

En un ambiente húmedo o mal ventilado (o no ventilado en absoluto), pueden crecer vegetales más o menos nocivos. Estos vegetales van desde los menos peligrosos - como los musgos y los líquenes- hasta los más peligrosos, como los hongos.

La aparición de líquenes y los musgos es muy vistosa pero relativamente poco nociva en sí misma. Aún así, resultan peligrosas para las características propias de estos vegetales, que transportan la humedad incluso en las partes secas.

En general los musgos y los líquenes crecen en las partes húmedas de los muros exteriores y sobre las cubiertas expuestas al norte.

El daño más grande se produce en las zonas límite de las plantas, donde es frecuente la alternancia de momentos húmedos y momentos secos, lo que crea un umbral de erosión similar al de la humedad ascendente.

Los mohos aparecen en locales húmedos y no aireados aunque la temperatura no sea muy baja y que la humedad sea más o menos presente.

Según el grado de humedad se tiene especies de mohos diferentes, los únicos efectos patológicos que provocan en el hombre son los fenómenos alérgicos.

Los sustratos nutritivos donde se sitúan los mohos son los materiales terrosos como la cal y el yeso o los materiales orgánicos como el papel, la madera, la cola, el cuero, etc.

Los mohos no resisten los rayos ultravioletas y la ventilación, por lo que la terapia a seguir contra ellas es sencilla, mucho más que la que se debe seguir para eliminar las humedades en las que han nacido y proliferado.

Por lo tanto, combatirlos es secundario respecto del saneamiento de la patología hídrica. Como no siempre es posible solear, cabe recordar que para ventilar a menudo basta con cambiar la disposición del mobiliario de la habitación, o provocar un intercambio de aire mayor.

Los hongos que se manifiestan en un ambiente húmedo son de diversas especies, pero los más dañinos son los que atacan las estructuras de madera. Los más frecuentes son el «hongo azul» y el «hongo de la casa».

Ambos necesitan mucha humedad, como mínimo un índice del 22 %, y esto sólo ocurre por la infiltración de agua o por la pérdida de las tuberías.

Además de evitar que se formen hongos, hay que saber cómo actuar en caso de infección. De entrada, hay que recoger y quemar toda la madera inutilizable y tratar con un fungicida de base orgánica toda la madera infectada, incluso la que lo está poco. Al mismo tiempo hay que suprimir todas las causas de humedad: asegurar una buena ventilación de todas las partes de la madera, especialmente entre entablados y cubiertas y entre paredes y revestimientos.

Después se han de rascar y cepillar cuidadosamente las paredes para eliminar todos los revestimientos y morteros dañados. A continuación hay que verificar atentamente que los hongos rizomorfos no hayan atravesado los paramentos para atacar partes de madera sana. Finalmente se debe secar, esterilizar a fuego, la superficie cercana a la zona de la madera infectada y tratarlo todo -madera y pared-rociando con ácido anticriptorgánico o antimicrobiano.

Cuando se vuelva a hacer uso de las partes de madera extraídas o atacadas, es necesario asegurarse de que estén secas y previamente tratadas por completo con una solución antiséptica. Además, los nuevos empotrados hay inyectar fungicida.

6.2. *Afección en apoyos de estructuras de madera*

Existe una típica patología de las zonas de apoyo de las vigas. El agua procedente de la lluvia es recogida en parte por la fachada, y de manera más fácil cuando existen repisas de balcones o cornisas. Las piezas de madera que apoyan en el muro de fachada pueden alcanzar contenidos de humedad peligrosos, aunque sea sólo en determinadas épocas del año, y desencadenar una pudrición.

Una buena práctica es dejar ventilado el apoyo de la viga para evitar la elevación del contenido de humedad de la madera. Pero esta medida es difícil de adoptar en la práctica.

Como puede esperarse las medidas preventivas están relacionadas directamente con la humedad. Cuando se modifique la configuración de la construcción y se introduzcan piezas de madera nueva, deberán tenerse en cuenta las recomendaciones constructivas siguientes para acercarse en lo posible a su cumplimiento:

- Mantenimiento de una separación al suelo de las piezas que arrancan de planta baja.
- Ventilación y separación entre madera y fábrica en las piezas que entran en los muros.
- Colocación de la madera con el contenido de humedad lo más cercano al valor medio que tendrá por equilibrio higroscópico en el edificio. Generalmente, no se empleará madera con contenido de humedad superior al 20 %.
- La estructura de madera de la cubierta debe comenzar donde ha terminado la coronación del muro de fábrica, evitando que las piezas queden rodeadas por la fábrica.

6.2.1. El arranque de la estructura desde el terreno

Las piezas de madera que transmiten las cargas a la cimentación siempre deben quedar separadas o aisladas del contacto con el suelo. Normalmente un pie derecho descansa sobre una basa de piedra que lo aísla del terreno. La separación entre el suelo y la madera debe tener un valor mínimo del orden de los 20 a 30 cm, sobre todo si la pieza queda expuesta al exterior como en los pies derechos de los soportales, la superficie de encuentro deberá permitir el desagüe hacia fuera (figura 6.1).

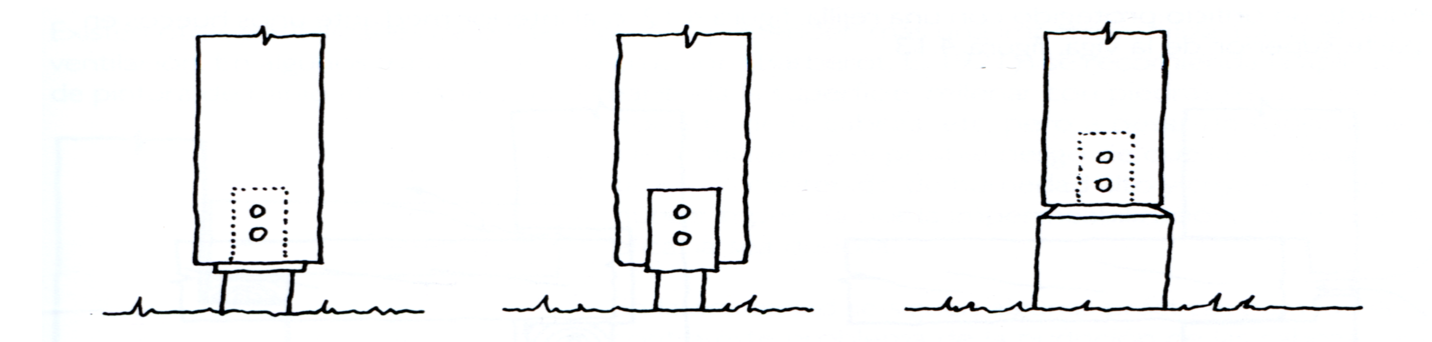


Figura 6.1. Apoyos de estructura lígnea que evitan el ascenso de humedad.
Según Arriaga, Francisco. 1995.

6.2.2. Los apoyos de las vigas en los muros

El encuentro de las vigas con los muros siempre ha constituido un punto débil para la durabilidad de la estructura, debido a la posibilidad de retención de la humedad. En los tratados de construcción ha sido un motivo de atención constante.

El apoyo más sencillo desde el punto de vista estructural se realiza sobre el eje del muro donde la cabeza de la viga queda encerrada y acodalada por la fábrica del muro. Para facilitar la misión de arriostramiento entre los muros, a veces en alguna de las vigas (normalmente una de cada cuatro y en zonas que no coincidan con los huecos de fachada) se fija una grapa o gancho de hierro que se recibe en el muro, de tal forma que la viga puede llegar a trabajar como un tirante (figura 6.2).

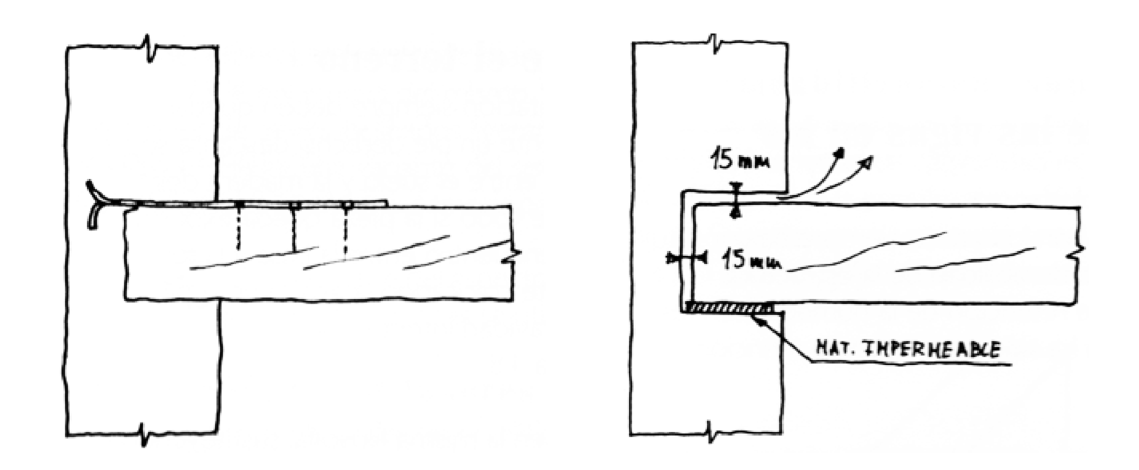


Figura 6.2. Empotramientos y ventilación de viguetas y vigas.
Según Arriaga, Francisco. 1995.

La solución anterior con la cabeza encerrada en el material del muro presenta el inconveniente de un alto riesgo de acumulación de humedad. El apoyo ideal debería contar con una pieza de asiento que sea impermeable (capa asfáltica, cartón embreado o chapa metálica y mantener una separación de al menos 15mm (en algunas fuentes se recomiendan 25 o 30 mm), en toda la superficie de la pieza que queda dentro de la fábrica, ventilada al interior del local, figura 6.2. Sin embargo esta solución es difícil de llevar a la práctica en muchas ocasiones, ya que el muro quedaría más debilitado a causa de las amplias cajas que se efectuarían, además de la propia dificultad de ejecución.

Una solución propuesta en la literatura sobre carpintería consiste en que la testa de la pieza deja una holgura con respecto a la fábrica y la ventilación se hace directamente al exterior mediante un orificio protegido con una rejilla, o al interior mediante unos huecos en la parte superior de la viga (figura 6.3).

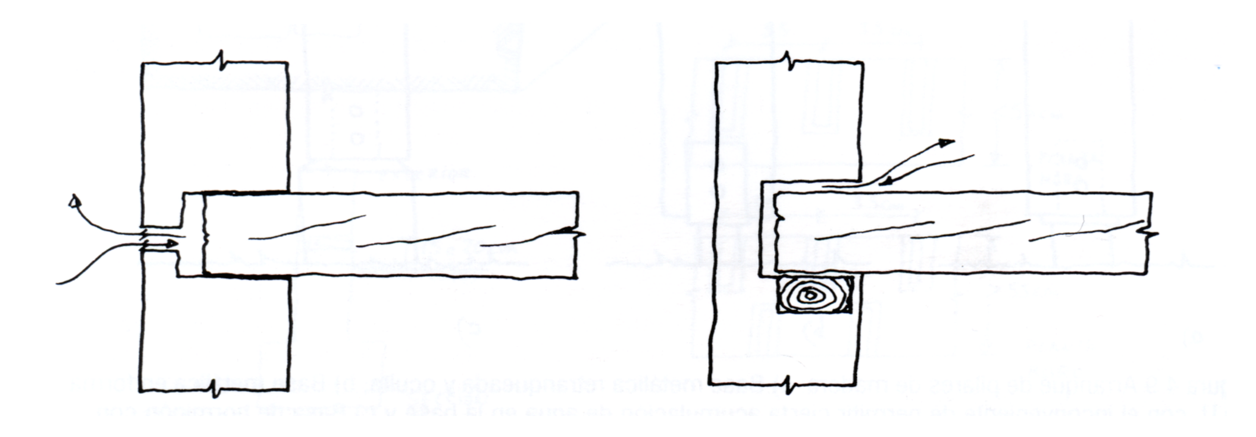


Figura 6.3. Ventilación de viguetas y vigas. Según Arriaga, Francisco. 1995.

Otra posibilidad para permitir la ventilación de la testa y a la vez acodalar la cabeza de la viga contra el muro es el empleo de chapas plegadas en forma de greca colocadas rodeando la cabeza de la viga. En un caso extremo llega a proponerse que el apoyo se realice fuera del muro a través de una carrera de madera que discurre pegada a la pared y que descansa sobre ménsulas o canecillos de piedra.

Cuando el muro tiene gran espesor, puede recurrirse a una solución acertada que consiste en disminuir el grueso del muro formando un escalón donde apoya un durmiente de madera que recibe las cabezas de las viguetas, figura 6.3. En este caso quedan ventiladas las cabezas y en gran parte el durmiente.

6.2.3. Los aleros y la protección mediante vuelos

En algunos casos, el empleo de chapas de protección puede resultar contraproducente si no existe posibilidad de evacuación del agua que pueda entrar al interior, en caso de deterioro. Por ejemplo, en una comisa protegida con una chapa, como se indica en la figura 6.4, el agrietamiento y deterioro de la misma permite la entrada de agua que perjudica las cabezas del forjado.

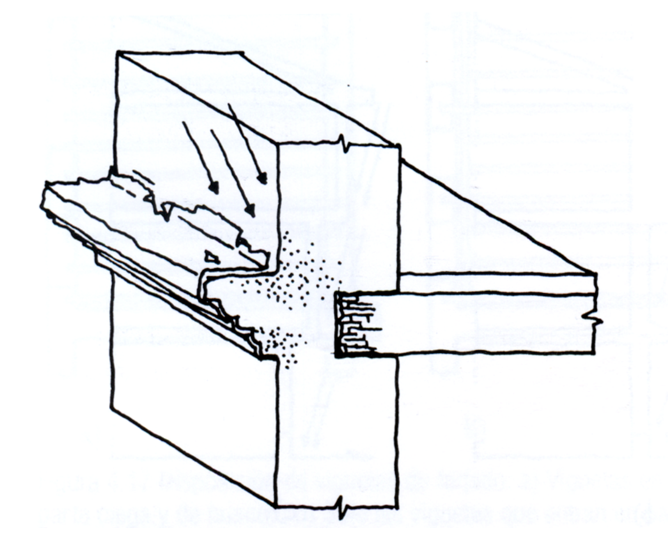


Figura 6.4. Pudrición de estructura de madera por efecto de la lluvia.
Según Arriaga, Francisco. 1995.

Cuando se utilizan chapas de cinc o de cobre hay que tener la precaución de separar las chapas de la madera mediante arandelas de plástico u otro tipo de material neutro, para evitar que se produzcan reacciones entre el cinc y la resina de la madera (principalmente en maderas de coníferas muy resinosas). No se recomienda colocar chapas de cinc sobre tableros derivados de la madera resistentes a la hu-

medad porque se pueden producir reacciones químicas entre el cinc y el adhesivo de los tableros.

6.3. *Otras humedades, la humedad accidental*

Como humedad accidental indican todas aquellas manifestaciones de humedades debidas a pérdidas de agua causadas por defectos de construcción o de funcionamiento de una instalación, o de daños producidos en el edificio por causas diversas, o por falta de mantenimiento.

En general, el fenómeno se produce:

- En las cubiertas en pendiente, por mal mantenimiento (rotura de tejas, mal estado de las chimeneas, de las uniones entre la cubierta y los elementos verticales, etc.).
- En las cubiertas planas (presencia de grietas, degradación de la impermeabilización).
- En las canales y los bajantes (mal conectados, obstruidos o rotos).
- Otros puntos a verificar como posibles causas de humedad accidental son:
- Todas las canalizaciones empotradas o vistas (de agua, de desagüe, de calefacción), las más peligrosas desde el punto de vista de las averías.
- Los puntos de suministro de agua, como las fuentes, los pozos y otros, aunque estén inactivos en muchos edificios históricos.
- Los servicios sanitarios (mal sellados o mal regulados).

La humedad accidental se manifiesta de manera similar a las infiltraciones localizadas provocadas por la lluvia, pero en general más evidentes y graves.

Cuando la zona donde se manifiesta la humedad es cerca del punto de fuga resulta fácil diagnosticar el daño y solucionarlo. Pero es frecuente -especialmente cuando las pérdidas son pequeñas- un recorrido del agua por el interior de los materiales, antes de que aparezca la mancha, y en este caso es más difícil encontrar la causa cierta.

Debe tenerse en cuenta que las causas de humedad menudo se presentan de manera combinada y son interactivas. Estas combinaciones hacen más difícil el diagnóstico y la aplicación de terapias oportunas y eficaces.

7. Resumen de las humedades en los edificios. Características, causas, efectos y soluciones

7.1. *La humedad por capilaridad*

7.1.1. Características y causas

Las humedades por capilaridad, son las que aparecen en las zonas bajas de las paredes cuando absorben el agua del terreno a través los cimientos.

Las humedades ascendentes de las paredes, pueden ser originadas por las causas:

-
- Por ascendencia del nivel freático del terreno (humedades constantes)
- Por la filtración de agua de lluvia (humedad ocasional inconstante)
- Por filtraciones accidentales (humedades puntuales)

En el primer caso la humedad será constante y afectará los muros estructurales según los materiales que los forman sean más o menos absorbentes.

En el segundo caso la humedad está condicionada a la climatología, aparece en tiempo de lluvia y desaparece en tiempo seco.

En el tercer caso la humedad aparece como consecuencia de una avería (atasco de alcantarillas, etc.) y desaparece definitivamente cuando se repara la avería.

A partir de una diagnosis correcta, si se realizan estudios de los niveles y grados de humedad alcanzados en cada punto y momento en el interior y el exterior de las paredes, un técnico especializado puede determinar las causas que las ha provocado y proponer las soluciones más efectivas a aplicar en cada caso.

7.1.2. Efectos

Los efectos de las humedades de capilaridad son muy diversos y dependen de factores variables como son las características constructivas del edificio: materiales, intensidad, etc. Genéricamente podemos agrupar estos efectos en dos bloques:

A corto plazo:

- Manchas de humedad en el exterior y en el interior de la pared.
- Aparición de humedades de condensación y ambiente húmedo en el interior los locales.
- Formación de manchas causadas por hongos.
- Degradación de los acabados decorativos (pintura y papeles de las paredes).

A largo plazo:

- Cristalización en la superficie de las sales que contiene la pared o el terreno (aparición de salitre).
- Degradación de los revestimientos y enyesados exteriores de las paredes.
- El frío puede hacer helar el exceso de agua contenida en la pared, y el hielo provocar la disgregación interna de los materiales que la forman.
- Degradación interna de los materiales de las paredes y aparición de grietas.

7.1.3. Soluciones

El proceso a seguir para resolver un problema causado por humedades de capilaridad, es el siguiente:

1. Encontrar las causas de la humedad mediante un diagnóstico profundizado y específico del problema.

2. Eliminar la fuente de humedad, si es posible.

A. Interceptar el paso del agua, si es posible, construyendo drenajes enterrados, junto a las paredes afectadas.

B. Evitar que el agua suba por las paredes, aplicando tratamientos de productos y técnicas existentes adecuadas como son:

- Hacer un corte horizontal en la pared e introducir una barrera laminar.
- Inyectar líquidos impermeabilizantes en el interior de la pared para hacer una barrera contra el paso de la humedad.
- Colocar sifones drenantes.
- Implantar un sistema eléctrico o de electro-ósmosis.

3. Una vez eliminada la humedad, cabe esperar que la pared seque.

4. Eliminar los efectos que haya provocado la humedad en los materiales que se hayan degradado, como son hongos y salitre, y reparar las grietas aparecidas en las paredes.

Revestir las paredes con revoques antihumedad o con aplacados impermeables sin haber eliminado antes la humedad puede resultar contraproducente, ya que si la humedad no se puede evaporar, al quedar encarcelada, subiera más arriba y aparecerá de nuevo por encima del nivel impermeabilizado, lo que no hará más que agravar el problema.

7.2. *La humedad por filtración*

7.2.1. Características y causas

Las humedades de filtración son las producidas por lesiones en las estructuras o en los revestimientos de los edificios, por degradación de sus materiales y de sus instalaciones.

Aparecen de forma puntual o generalizada en las caras interiores y exteriores de las paredes.

Las causas que provocan estas humedades pueden ser de tipo directo o indirecto.

7.2.1.1. Tipo directo

- Penetración del agua de lluvia a través de las degradaciones patológicas del edificio, como son: material de acabados de fachadas porosos, permeables o fisurados, desconchados o soplados de los revestimientos exteriores del edificio.
- Defectos de unión entre la carpintería y la obra.
- Fisuras o grietas en la estructura de las paredes.
- Degradación de las cubiertas del edificio.

7.2.1.2. Tipo indirecto

Absorción del agua por parte de la estructura, provocada por averías en las instalaciones del edificio, como son:

- Degradación de las juntas de unión de la red vertical u horizontal de evacuación de aguas y atascos.
- Mal funcionamiento de los contenedores de aguas domésticas (cisternas y depósitos).
- Degradación o avería en la red de suministro de agua potable (resquebrajamiento o apertura de poros en las tuberías).

Para resolver el problema de las filtraciones, se estudiarán primero las causas y llegar a un conocimiento suficiente del edificio y de sus instalaciones. Este trabajo se realizará un técnico experto ayudado por aparatos adecuados, de control y medición de humedades.

7.2.2. Efectos

Los efectos de las humedades de filtración son muy variables y dependen de toda una serie de factores que llegan siempre vinculados a la intensidad de la filtración ya su duración.

Genéricamente podemos considerar que las definidas como de tipo directo, en los edificios habitados, son las que el usuario considera con menos preocupación porque tienen una evolución lenta, mientras que las producidas por averías en las instalaciones son más espectaculares y el usuario hace lo posible para combatirlas así que se producen, con los medios que tiene a su alcance, es decir cerrando el paso del agua.

Como consecuencia de este hecho, las primeras suelen producir mayores efectos patológicos en el construido, si bien las segundas pueden provocar accidentes en el mobiliario y en la decoración de la vivienda.

Los efectos más comunes como consecuencia de las humedades de filtración, son:

- Manchas de humedad en el exterior e interior de la pared
- Aparición de ambientes húmedos y de humedades de condensación
- Degradación de los materiales de revestimiento y de la misma pared
- Cristalización de sales en la superficie
- Pudrición de vigas de madera
- Corrosión de elementos metálicos
- Facilitar la introducción de insectos xilófagos en la madera
- Degradación de materiales de acabado, decoración y mobiliario.

7.2.3. Soluciones

La única solución y la más eficaz para evitar las humedades de filtración, consiste en la eliminación de las causas, tanto de tipo di recto como indirecto, y reparación de los efectos producidos.

En los paramentos exteriores con humedades de filtración de tipo directo, se podrá actuar con técnicas auxiliares de protección, como son:

1. Inyección de resinas en las fisuras

2. Protección de las fachadas con pinturas impermeables

3. Hidrofugación de los paramentos, con productos idóneos y garantizados

4. Construcción de cornisas de protección

5. Láminas impermeabilizantes para superficies horizontales o inclinadas (cubiertas, azoteas) protegidas superficialmente con teja o pavimento.

Hay que tener la seguridad de que los materiales que se emplearán son compatibles física y químicamente con la obra existente. También hay que tener en cuenta que si Impermeabilizamos exteriormente una pared, el vapor de agua que contiene no podrá salir al exterior y saldrá por el interior, creando posibles humedades de condensación.

En el caso de humedades accidentales, la solución radica en un buen mantenimiento del edificio reduciendo el factor de riesgo a la avería.

7.3. *La humedad por condensación*

7.3.1. Características y causas

Las humedades de condensación son las producidas por la concentración, en ambientes cerrados, de vapor de agua en proporciones excesivas.

Esta es la menos perceptible de las humedades pero la que crea más microorganismos nocivos para la salud y también, a nivel estético, afecta negativamente a los locales habitados.

En la formación de estas humedades pueden participar directamente los dos tipos de humedades ya comentados (capilaridad y filtración), si bien, generalmente hay otros factores complementarios que las hacen posibles, como son los propios habitantes con el uso que hacen del edificio, las características constructivas, etc.

Así pues, de una forma genérica, podemos decir que las causas que provocan las humedades de condensación pueden tener diferentes orígenes, como son:

- Vapor de agua proveniente de humedades residuales de capilaridad o filtraciones
- Vapor de agua proveniente de las cámaras húmedas de una vivienda (baño y cocinas)
- Vapor de agua que se desprende del cuerpo humano al respirar y en forma de sudor (sobre todo durante las horas nocturnas)
- Ventilación in suficiente de los locales
- Aislamiento térmico inexistente o deficiente climatización de los locales para procedimientos que queman oxígeno y producen vapor de agua (estufas de gas butano)
- Humedad ambiental por razones climatológicas
- Otros.

7.3.2. Efectos

Las humedades de condensación producen diversos efectos en el interior los locales: agresión de los materiales de construcción, deterioro de la habitabilidad y salubridad del ambiente y degradación del aspecto exterior de los revestimientos superficiales. Genéricamente podemos decir que los efectos más importantes son los siguientes:

- Creación de una atmosfera insalubre en el interior de los locales aparición de hongos en los puntos de máxima concentración de la condensación de vapor de agua y menos ventilados
- Olor desagradable (de moho)
- Aparición de manchas en las paredes y techos por efecto de los puentes térmicos
- Desprendimiento por humectación de los revestimientos decorativos (pintura y papeles pintados)
- Descomposición del revestimiento del grosor de las paredes, que por absorción del vapor de agua de condensación, se hidrata y se cubre de una película polvorienta.

7.3.3. Soluciones

Las mejores soluciones para eliminar las humedades de condensación consisten en la aplicación de una serie de medidas que podemos considerar indirectos, pero que son las únicas que afrontan una forma real las causas que las provocan. Por otra parte no hay ningún técnica o producto específico dirigido a eliminar esas humedades que no se base en la aplicación de alguna de las siguientes medidas:

1a. Conseguir una buena ventilación de los locales
2a. Disponer de un aislamiento térmico del interior de los locales
3a. Acondicionar el clima de los locales por medio de una calefacción (no húmeda) o con aire acondicionado.

En este sentido hay que tener muy presente que el edificio disponga de:

- Ventilación y permanente
- Un aislamiento térmico correcto que permita eliminar las condensaciones en los paramentos y evite los efectos de los puentes térmicos
- Un doble cristal en las ventanas que evite la entrada de frío y la condensación de vapor de agua en su superficie, protegiendo así la carpintería contra el agua que se depositaría sobre él.

Estos tipos de humedades, como todos los comentados, son algo difíciles de reconocer y de identificar ya que se pueden confundir las unas con otras. Si no es por medio de un diagnóstico especifica hecha con los conocimientos y medios adecuados, es bastante frecuente que la aplicación de una solución determinada no dé los resultados esperados debido a una mala identificación del tipo de humedad. Así pues, antes aplicar una solución, siempre es necesario que un experto en el tema haga el correspondiente diagnóstico.

8. Bibliografía

Arriaga, Francisco. 1995. «Factors de degradació per comportament estructural» en AA.VV. (Ed) *Manual de diagnosi, patologia i intervenció en estructures de fusta* (55-65). Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. Barcelona.

Casanovas, Xavier y Josep Mª Moreno. 1993. «Humitats en els edificis. Exposició divulgativa» en AA.VV. (Ed) *Manual de diagnosi i tractament d'humitats* (113-124). Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. Barcelona.

Cecchini, Cecilia. 1999. «Mantenimiento, durabilidad, seguridad y economía» en Díaz, César (Ed). *El mantenimiento de los edificios desde el inicio del proyecto al final de su vida útil*. Col.legi d'Arquitectes de Catalunya. Barcelona.

Cesari, Carlo, Luisella Gelsomino y Sandro Massa. 1993. «Humitats: Tècniques d'anàlisi i d'intervenció» en AA.VV. (Ed) *Manual de diagnosi i tractament d'humitats* (11-44). Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. Barcelona.

Coscollano, José. 2003. *Restauración y Rehabilitación de Edificios*. Madrid. Thomson-Paraninfo.

Cuervo, Lino y Tomás Ferreres. 2009. *Prevención de humedades I. Prevención de humedades en cubiertas y en edificaciones enterradas*. Tarragona. Col. legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'Edificació de Tarragona.

García Morales, Soledad. 1993. «Metodologia del díaqnóstic d'humitats. Una aproximació sistemática» en AA.VV. (Ed) *Manual de diagnosi i tractament d'humitats* (45-68). Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. Barcelona.

García Esparza, Juan Antonio. 2004. *Documentación de la Rehabilitación de la Iglesia Parroquial de la Pobla de Benifassà*. Inédito. Empresa Cyrespa Arquitectónico.

García Esparza, Juan Antonio. 2006. *Documentación de la Rehabilitación del Mercado Central de Valencia*. Inédito. Empresa ISOLUX Corviam.

García Esparza, Juan Antonio. 2007. *Documentación de la Rehabilitación de las Torres de Quart de Valencia*. Inédito. Empresa Cyrespa Arquitectónico.

Labastida, Francesc. 1999. «Las operaciones de mantenimiento y sus plazos en los edificios de viviendas» en Díaz, César (Ed). *El mantenimiento de los edificios desde el inicio del proyecto al final de su vida útil*. Col.legi d'Arquitectes de Catalunya. Barcelona.

Massa, Sandro. 1993. «Anàlisi ambiental i condensació» en AA.VV. (Ed) *Manual de diagnosi i tractament d'humitats* (79-84). Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. Barcelona.

Muñoz, Manuel. (Ed) 2004. *Influencias, daños y tratamientos de las humedades en la edificación*. Madrid.

Pinchin, Sarah Elini. 2008. *Techniques for monitoring moisture in walls. Studies in Conservation* 53: 33-45.

Serrano, Francisco. 2005. *Patología de la edificación. El lenguaje de las grietas.* Madrid. Fundación Escuela de la Edificación.

Saïd, M. Nady A. 2007. *Measurement Methods of Moisture in Building Envelopes – A Literature Review**. International Journal of Architectural Heritage 1 (3): 293-310.

Vera, Alfredo. 1993. «Tractament d'humitats de capil·laritat. Avantatges i incovenients» en AA.VV. (Ed) *Manual de diagnosi i tractament d'humitats* (91-100). Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. Barcelona.

9. Normativa

9.1. *Código Técnico de la Edificación*

DB-SUA Seguridad de utilización y accesibilidad
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SUA.
Real Decreto 173/2010, de 19 de febrero, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 11 de marzo de 2010

DB-HS Salubridad
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HS.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 28 de marzo de 2006
Modificado por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007
Corrección de errores.
B.O.E.: 25 de enero de 2008

DB-HE Ahorro de energía
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HE.
Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, del Ministerio de Fomento.
B.O.E.: 12 de septiembre de 2013
Corrección de errores.
B.O.E.: 8 de noviembre de 2013

9.2. *Normas tecnológicas*

UNE-EN 506:2010. Productos para cubiertas de chapa metálica. Especificación para los productos autoportantes de cobre o cinc.

UNE-CEN/TS 1187:2013. Métodos de ensayo para cubiertas expuestas a fuego exterior.

UNE-EN 1365-2:2016. Ensayos de resistencia al fuego para elementos portantes. Parte 2: Suelos y cubiertas.

UNE-EN 1604:2013. Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la estabilidad dimensional bajo condiciones específicas de temperatura y humedad.

UNE-EN 1873:2015+A1:2016. Accesorios prefabricados para cubiertas. Lucernarios individuales en materiales plásticos. Especificaciones de producto y métodos de ensayo.

UNE-EN ISO 6270-1:2002. Pinturas y barnices. Determinación de la resistencia a la humedad. Parte 1: Condensación continua. (ISO 6270-1:1998).

UNE 41805-10:2009 IN. Diagnóstico de edificios. Parte 10: Estudio patológico del edificio. Fachadas no estructurales.

UNE 67027:1984. Ladrillos de arcilla cocida. Determinación de la absorción de agua.

UNE-EN 12056-3:2001. Sistemas de desagüe por gravedad en el interior de edificios. Parte 3: Desagüe de aguas pluviales de cubiertas, diseño y calculo.

UNE-EN 13755:2002. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica.

UNE-EN ISO 13788:2002. Características higrotérmicas de los elementos y componentes de edificación. Temperatura superficial interior para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial. Métodos de cálculo. (ISO 13788:2001).

UNE-EN 15757:2011. Conservación del patrimonio cultural. Especificaciones de temperatura y humedad relativa para limitar los daños mecánicos causados por el clima a los materiales orgánicos higroscópicos.

UNE-EN 16242:2014. Conservación del patrimonio cultural. Procedimientos e instrumentos para la medición de la humedad del aire y los intercambios de humedad entre el aire y el patrimonio cultural.

UNE 41811:2017. Criterios de intervención en cerramientos de cubiertas.

UNE-EN 60068-2-39:2016. Ensayos ambientales. Parte 2-39: Ensayos. Ensayos y guía: Ensayos combinados de temperatura o temperatura y humedad con baja presión de aire.

UNE-EN 60721-2-1:2014. Clasificación de las condiciones ambientales. Parte 2-1: Condiciones ambientales presentes en la naturaleza. Temperatura y humedad.

UNE 88111:2011/1M:2015. Placas onduladas y nervadas de cemento reforzado con fibras. Criterios para su utilización en cubiertas.

UNE 104400-5:2000. Instrucciones para la puesta en obra de sistemas de impermeabilización con membranas de alquitrán modificado con polímeros para la impermeabilización y rehabilitación de cubiertas. Control, utilización y mantenimiento.

UNE 104401:2013. Impermeabilización en la edificación sobre y bajo rasante con láminas bituminosas modificadas. Sistemas y puesta en obra.

UNE-EN 16153:2013+A1:2015. Placas traslúcidas planas de varias capas de policarbonato (PC) para cubiertas interiores y exteriores, paredes y techos. Requisitos y métodos de ensayo.

10. Software Técnico-Comercial

Arquímedes y generador de precios CYPE / AutoCAD. Autodesk / REVIT. Autodesk

Base de datos de construcción de la Comunidad Valenciana. Instituto Valenciano de la Edificación.

Base de datos Precio Centro Guadalajara. Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de Guadalajara.

11. Congresos internacionales sobre la materia

Asociaciones que patrocinan los congresos internacionales del ISI Conference Proceedings Citation Index.

IEEE
IEEE
Electron Devices Soc
IEEE Photon Soc
IEEE Power & Energy Soc
Reliabil Soc
IEEE USA
IEEE Instrumentat & Measurement Soc
KES Int
Ecolog Built Environm Res & Enterprise Grp
ASHRAE
Amer Ind Hyg Assoc
Amer Soc Heating, Refrigerating & Air Conditioning Engineers

Int Commiss Occupat Hlth, SC Indoor Air Qual & Hlth
Int Council Res & Innovat Bldg & Construct
European Commiss Asia Pro Eco Programme Promot Sustainable Solut Environm Europe & Asia
Wessex Inst Technol
Soc Photo Opt Instrumentat Engineers
Russian Fdn Basic Res
UNSW Built Environm
CRC Low Carbon Living
UrbanGrowth NSW
Finnish Assoc Civil Engineers RIL
Estonian Assoc Civil Engineers EEL
Bulgarian Acad Sci
Acad Sci Czech Republ
Latvian Acad Sci
Polish Acad Sci
Russian Acad Sci
Serbian Acad Sci & Arts
Slovak Acad Sci
Natl Acad Sci Ukraine
Inst Water Problem & Hydropower NAS KR
Natl Acad Sci Armenia
Sci Council Japan
World Acad Sci
European Acad Sci Arts & Lett
Acad Sci Moldova
Montenegrin Acad Sci & Arts
Croatian Acad Sci & Arts
Georgian Natl Acad Sci
Acad Fine Arts & Design Bratislava
Turkish Acad Sci
Bulgarian Ind Assoc
Bulgarian Minist Environm & Water
Leading Edge Cluster Intelligent Tech Syst Ost Westfalen Lippe
German Fed Minist Educ & Res
ASTM Int
ACM SIGMOBILE
ACM SIGOPS
SPIE
FLIR Syst Inc
IRCameras LLC
ASTM Int Comm D08
ASTM Int Comm C16 Thermal Insulat
European Soc Computat Methods Sci, Engn & Technol.

12. Material docente complementario

Esta unidad didáctica se complementa con material gráfico de Casos Particulares de Estudio en obras de rehabilitación:

- Mercado Central de Valencia.
- Torres de Quart de Valencia.
- Iglesia Parroquial de la Pobla de Benifassà, Castellón.

Unidad didáctica 7
http://bit.ly/2xo9VXK



CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EDIFICIOS

Unidad didáctica 8

Introducción al estudio de la sismicidad en edificación

ÍNDICE

6. Software Técnico-Comercial

7. Congresos internacionales sobre la materia

8. Material docente complementario

Esta unidad didáctica se complementa con material gráfico de varios Casos Particulares de Inspección.

Introducción al estudio de la sismicidad en edificación

1. Conceptos iniciales

1.1. *Peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo sísmico*

1.1.1. Parámetros principales de los sismos fuertes

Es comúnmente aceptado que los terremotos pueden definirse como fracturas súbitas de la corteza terrestre debidas a la liberación cuasi-instantánea de la energía acumulada en el interior de la Tierra. Su origen puede ser volcánico, por colapso de cavidades subterráneas, debido a las explosiones provocadas y de carácter tectónico; estos últimos están asociados a los movimientos de la litosfera terrestre, resultando ser los más fuertes y frecuentes. Por ello, cuando se hable de sismos en los presentes apuntes nos estaremos refiriendo exclusivamente a ellos. Así, Los principales fenómenos que se producen durante un terremoto son las deformaciones tectónicas y la emisión de ondas sísmicas a través de la Tierra.

Los factores que afectan a las deformaciones tectónicas son las características geométricas de la fuente sísmica, el mecanismo focal del terremoto y las propiedades elásticas del material, todo ello provocando rupturas en la superficie, desplazamientos relativos entre bloques de corteza, etc. Los factores que afectan la emisión y transmisión de ondas son la radiación de la fuente sísmica, el mecanismo de propagación de dichas ondas y también la geometría y naturaleza del emplazamiento, lo cual ejerce efectos tanto sobre las estructuras, provocando daño en las mismas, como en los suelos, por ejemplo, licuefacción y deslizamientos.

Con el objeto de medir el tamaño de los terremotos y compararlos unos con otros, nacen los conceptos de intensidad, magnitud y momento sísmico, de los cuales el último, por el rango de frecuencias en el que está definido es de escaso interés para la Ingeniería Estructural). Debido a la frecuente utilización de estos términos a continuación se describen brevemente.

1.1.1.1. Magnitud sísmica y energía

El concepto de magnitud lo introdujo Richter en 1935, para poder comparar la energía liberada en el foco por diferentes sismos. La energía liberada por un terre-

moto es la suma de la energía transmitida en forma de ondas sísmicas y la disipada mediante otros fenómenos en el foco, principalmente en forma de calor.

El valor de la magnitud así definida (escala Richter) no tiene límite matemático, pero sí físico dado por la constitución de los materiales de la Tierra. Dicho límite, hasta ahora, no ha sobrepasado el grado 9.

1.1.1.2. Intensidad sísmica

La intensidad es un parámetro que mide los efectos locales que produce un mismo sismo en diferentes sitios, es decir, describe los daños ocasionados en edificios y estructuras, sus consecuencias sobre el terreno y los efectos sobre las personas. Por su definición, este parámetro se relaciona directamente con el tipo o categoría de daño o degradación que sufren los edificios a causa de un sismo en un determinado lugar.

Existen en la práctica dos procedimientos para determinar la intensidad sísmica, uno subjetivo y otro analítico, de los cuales el más extendido es el primero.

Los métodos subjetivos evalúan el conjunto de daños que producen los sismos en las construcciones y en el entorno físico. Por su propia definición, no proporciona una idea precisa de la energía liberada por un terremoto ya que, por ejemplo, un terremoto superficial puede producir, en cierto tipo de terreno, valores de intensidades muy altas y desarrollar al mismo tiempo una energía liberada bastante pequeña.

1.1.1.3. Sismicidad

Originalmente la sismicidad ha sido considerada como la distribución espaciotemporal de los terremotos en la Tierra (fecha y localización) y sus efectos destructores -basados en la recopilación histórica de todos los datos de los sismos- han dado origen a los catálogos sísmicos. De los diversos estudios realizados se han podido observar regiones más activas que otras, concentradas en zonas o franjas bien marcadas. En la figura 1.1 puede observarse la distribución de la sismicidad del área Ibero-Magrebí.

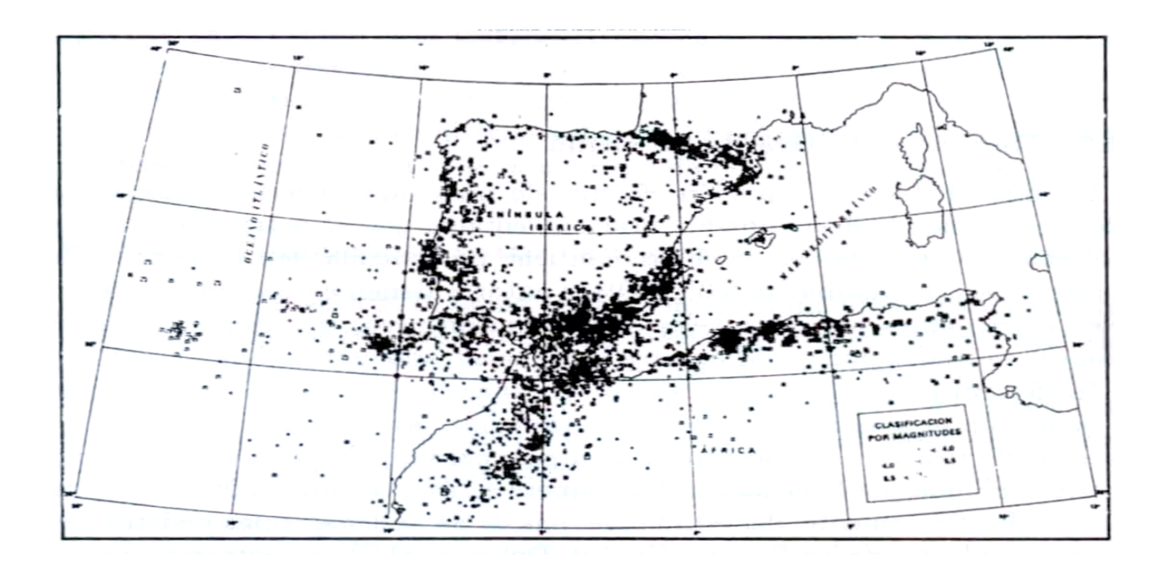


Figura 1.1. Distribución de sismos en España y Marruecos.
Según, Yépez, Fabricio, Alex H. Barbat y Josep A. Canas. 1995.

1.1.2. Potencial destructivo de los terremotos

Según algunos autores, son cuatro las condiciones generales que determinan la ocurrencia de un desastre por terremoto:

- El tamaño del terremoto, ya que un sismo pequeño no induce un movimiento fuerte en el terreno, suficiente como para producir daños considerables.
- La fuente sísmica debe ser lo suficientemente cercana a un área urbana, ya que a grandes distancias el movimiento del terreno se atenúa hacia un nivel más bajo del requerido para inducir daños importantes.
- El tamaño y distribución de las poblaciones afectadas y su desarrollo económico.
- El grado de preparación contra el sismo, entendiéndose como tal el grado de educación y prevención que existe en la población frente a la posibilidad de un terremoto.

Fácilmente puede observarse que el potencial de desastre se incrementa cuanto mayor y más cercano sea el sismo a un centro urbano, cuanto mayor sea la población y el desarrollo económico y cuanto menor sea el grado de preparación contra sismos.

Analizando estas condiciones se observa que, a pesar de que la sismicidad permanece constante, el rápido crecimiento y dispersión de la población en las áreas sísmicamente más peligrosas contribuye a un rápido incremento en el tamaño del desastre. Así se puede concluir que con el paso del tiempo el potencial de destrucción de los sismos va aumentando desproporcionadamente.

Otra explicación del incremento en las pérdidas que ocasionan los terremotos en centros urbanos consiste en la existencia de estructuras vulnerables y por tanto

peligrosas. Muchas de estas estructuras y entre ellas edificios, fueron construidos cuando la Ingeniería Sísmica aún estaba en sus comienzos. Hay que tener en cuenta también que, pese a que los requisitos de diseño sísmico de los códigos de edificaciones han sido cada vez más exigentes y mejorados desde ese entonces, aún los códigos vigentes en la actualidad no son infalibles.

Toda esta problemática ha sido objeto de numerosos estudios con el propósito de desarrollar métodos para mitigar los efectos de los terremotos y de esta necesidad han nacido los estudios de riesgo sísmico.

1.1.3. Peligrosidad sísmica

Se entiende por peligrosidad sísmica de una zona cualquier descripción de los efectos provocados por terremotos en el suelo de dicha zona. Estos efectos pueden venir representados mediante la aceleración, velocidad, desplazamiento o por la intensidad sentida en el lugar y para evaluarlos es necesario analizar los fenómenos que ocurren desde la emisión de ondas sísmicas en el foco hasta que dichas ondas alcanzan el lugar en cuestión.

En la figura 1.2 se presenta el mecanismo de propagación de la energía de un sismo desde el epicentro hasta cualquier punto de una estructura. Puede observarse que, al ocurrir un terremoto con unas ciertas características focales (profundidad, mecanismo focal, magnitud , etc.), parte de la energía disipada se convierte en ondas sísmicas, las cuales se propagan por la tierra sufriendo diversos fenómenos entre los cuales se encuentran el de reflexión, refracción, atenuación y amplificación, hasta llegar al basamento rocoso debajo del lugar de emplazamiento.

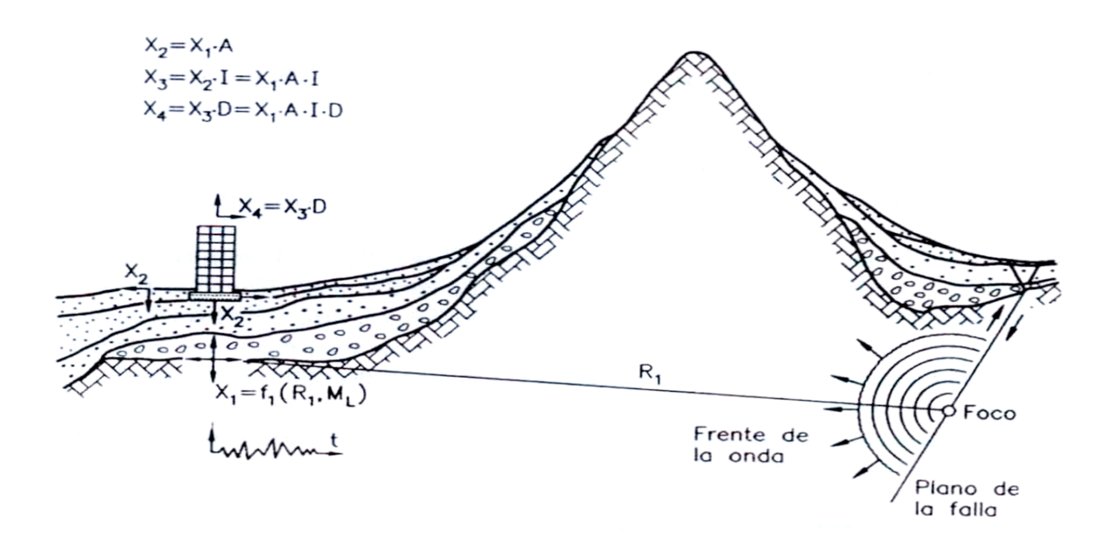


Figura 1.2. Esquema de propagación de un sismo.
Según, Yépez, Fabricio, Alex H. Barbat y Josep A. Canas. 1995.

Los estudios de peligrosidad sísmica a nivel regional (macrozonificación) se dedican a estimar el parámetro X_1, mientras que los estudios de peligrosidad a nivel local (microzonificación) tienen como objetivo el de evaluar la función de transferencia A y por ende la señal X_2. La función de transferencia A depende de las propiedades dinámicas del suelo y de la geometría de la capa de terreno sobre la que se asienta una determinada estructura.

Para realizar estos estudios se requiere de investigaciones muy detalladas que son parte de un amplio campo dentro de varias ciencias como la Geofísica, la Geología y la Geotécnica.

En el presente capítulo solo se describen brevemente los procedimientos que normalmente se utilizan, a fin de presentar la problemática general del tema.

1.1.3.1. Evaluación de la peligrosidad sísmica a escala local

Los estudios de evaluación de la peligrosidad sísmica buscan proporcionar datos sobre la probabilidad de que ocurra un sismo de determinado tamaño, asociado a un periodo de retorno, en un lapso de tiempo de exposición. Para ello es necesario conocer cuál es el efecto de la existencia de las diferentes capas (firme/roca o de menor calidad) del terreno sobre las características sismológicas del lugar, en qué medida varían los parámetros de evaluación de la peligrosidad regional (microzonificación) a fin de adoptar un determinado valor de la acción sísmica de diseño.

Básicamente se deben considerar dos tipos de problemas:

- Efectos de amplificación dinámica debidos a la geometría y naturaleza del suelo sobre roca en la proximidad del lugar de estudio;
- Efectos indirectos producidos por las vibraciones de las ondas sísmicas, tales como deslizamientos, licuefacción, etc.

a) *Efectos de amplificación a escala local*

De la experiencia de terremotos pasados se han podido observar concentraciones de daño en estructuras emplazadas en ciertos lugares, aun cuando dichos lugares están en algunas ocasiones más alejados del epicentro que otros, en los que los daños han sido mucho menores.

Más aún, de la comparación de registros sísmicos obtenidos en el mismo sitio, tanto en el subsuelo como en la superficie, se pueden observar diferencias claras tanto en la amplitud como en el contenido de frecuencias y duración del movimiento registrado.

b) *Efectos indirectos*

Fruto de la vibración inducida por los terremotos se suceden anomalías en la superficie del terreno. Se ha observado que los accidentes orográficos tales como colinas o montañas, pueden amplificar la señal en un 10 o 20 %. Los efectos más importantes tienen relación con la licuefacción, los deslizamientos, asentamientos y avalanchas. Es conocido que en depósitos de materiales granulares especialmente sin cohesión, en presencia de un alto nivel freático puede ocurrir un proceso de licuefacción. Por otro lado, los deslizamientos de tierra y asentamientos pueden causar daños severos en las estructuras, muros y cimentaciones, líneas vitales, presas y, en casos de avalanchas, pueden llevar incluso a la desaparición de poblaciones enteras.

1.1.4. Vulnerabilidad sísmica

La otra componente fundamental del riesgo sísmico es la denominada vulnerabilidad. A partir de experiencias de terremotos pasados se ha observado que ciertas estructuras, dentro de la misma tipología estructural, experimentan un daño más severo que otras, a pesar de estar ubicadas en la misma zona. Si al grado de daño que sufre una estructura, ocasionado por un sismo de determinadas características, se le denomina vulnerabilidad, se pueden entonces clasificar los edificios en «más vulnerables» o «menos vulnerables» frente a un mismo evento sísmico. Así mismo, el ser más o menos vulnerable ante un sismo de determinadas características es también una propiedad intrínseca de cada estructura, por tanto, independiente de la peligrosidad del lugar de emplazamiento. Esto quiere decir que una estructura puede ser vulnerable pero no estar en riesgo, a menos que se encuentre en un sitio con una cierta peligrosidad sísmica.

El grado de daño que puede sufrir una estructura puede ser de dos tipos:

a) *Daño estructural* o daño que se produce en elementos que forman parte del sistema resistente de la edificación y *b*) *Daño no estructural* que ocurre en los elementos que no forman parte del sistema resistente principal, incluyendo el daño arquitectónico, daño en los sistemas mecánicos, eléctricos, sanitarios y daño en el contenido del edificio. El daño estructural depende del comportamiento de los elementos del esquema resistente, sean vigas, columnas, muros de carga, arriostramiento, etc. y puede cuantificarse mediante un *indicador de daño local*, es decir un indicador del daño ocasionado en el elemento asociándolo luego a un *indicador de daño global* de toda la estructura en conjunto. El indicador global se estima a partir de las contribuciones ponderadas de los indicadores de daño locales. Por otra parte, el daño no estructural se evalúa en función de las deformaciones y distorsiones que sufra la estructura y, en ocasiones, a partir de la aceleración que experimente la misma.

	Tipo de Estructura	Clase de Vulnerabilidad A	B	C	D	E	F
MAMPOSTERÍA	Paredes de peña viva / roca de cantera	○					
	Adobe (ladrillo de tierra)	○	—				
	Roca simple	···	○				
	Roca masiva		—	○	···		
	Unidades de roca manufacturada	···	○	—			
	Ladrillo no reforzado, pisos de HA		—	○	···		
	Reforzado o confinado			···	○	—	
HORMIGÓN ARMADO (HA)	Armazón sin diseño sismorresistente (DSR)	···	··· —	○	···		
	Armazón con un nivel moderato de DSR		···	··· —	○	—	
	Armazón con un alto nivel de DSR			···	··· —	○	—
	Paredes sin DSR		···	○	—		
	Paredes con un nivel moderado de DSR			···	○	—	
	Paredes con un nivel alto de DSR				···	○	—
ACERO	Estructuras de acero			···	··· —	○	—
MADERA	Estructuras de madera		···	··· —	○	—	

○ Clase de vulnerabilidad más probable; — Rango probable;
····· Rango de casos exceptionales, menos probables

Figura 1.3. Clase de vulnerabilidad de la escala EMS'98.
Figura según: Yépez, Fabricio, Alex H. Barbat y Josep A. Canas. 1995.

Desde el punto de vista de los costes financieros, se requiere conocer un *índice de daño económico global* de la estructura, que agrupe de alguna manera los índices anteriores. Generalmente se define como:

Índice de daño económico = Coste de reparación del daño / Coste de reposición

El coste de reparación es una suma ponderada de los costes parciales de reparación, tanto de elementos estructurales como no estructurales y, por lo tanto, se deben relacionar esos costes con los indicadores de daño estructural. Algunos autores recomiendan que, a falta de datos sobre estas correlaciones, debe tomarse el índice de daño económico igual al índice de respuesta de daño global de la estructura.

Puesto que la vulnerabilidad sísmica nace de la observación y cuantificación de los daños ocasionados por terremotos, puede denominarse entonces *vulnerabili-*

dad observada, puesto que está basada en métodos de carácter *empírico* o *subjetivo*. De otra parte, también es posible cuantificar el grado de daño ocasionado por un eventual sismo mediante modelos matemáticos o mecánicos, que simulen el efecto del terremoto, en cuyo caso se denominan estudios de *vulnerabilidad calculada*.

Aun cuando se observa la importancia de este tipo de estudios, no existen metodologías estándar para estimar la vulnerabilidad de las estructuras. En España, los estudios de vulnerabilidad sísmica son escasos y esto ocasiona un problema adicional que consiste en la inexistencia de matrices o funciones de vulnerabilidad propias de las zonas sísmicas españolas (Estudios de vulnerabilidad observada, punto 2.1 de estos apuntes).

1.1.5. Evaluación del riesgo sísmico

Los estudios de riesgo sísmico a partir de la observación y el análisis de los daños provocados por terremotos han aumentado considerablemente en los últimos años.

El riesgo sísmico se enmarca dentro de los siguientes conceptos:

- *La peligrosidad sísmica* que representa la probabilidad de ocurrencia, dentro de un período específico de tiempo y dentro de un área dada, de un movimiento sísmico del terreno de una intensidad determinada.
- *La vulnerabilidad sísmica* de una estructura o grupo de estructuras, definida como el grado de daño debido a la ocurrencia de un movimiento sísmico del terreno de una intensidad determinada.
- *El riesgo sísmico específico* representa la probabilidad de que una estructura o grupo de estructuras en riesgo, sufra uno o varios grados de daño durante un tiempo de exposición dado.
- *El riesgo sísmico* se define entonces como el grado esperado de pérdidas sufridas por una estructura o un grupo de estructuras en riesgo, durante el período de exposición considerado.

Se aprecia que el riesgo específico depende tanto de la vulnerabilidad de la estructura en riesgo, como de la peligrosidad del sitio de emplazamiento. El riesgo sísmico en cambio, depende del riesgo específico y del coste o valor de la estructura o del elemento en riesgo, coste de cualquier tipo ya sea económico, financiero, indemnización, social, humano, etc.

1.2. *Condicionantes y pautas para un adecuado comportamiento estructural sismo-resistente*

A efectos de facilitar la compatibilización del diseño arquitectónico, o quizá un modelo arquitectónico dado, con el diseño sismo-resistente se ha elaborado una

síntesis de los condicionantes más importantes del Diseño Estructural con sus correspondientes interacciones y pautas de compatibilización para un adecuado comportamiento estructural sismo-resistente.

1.2.1. Columna corta

Condicionantes del diseño estructural sismo-resistente
Esta situación, muy conocida, se produce por una disposición particular de las mamposterías que reduce notablemente la altura de los esfuerzos y consecuentemente su rigidez se incrementa inversamente proporcional al cubo de la altura de los pilares o columnas.

Este gran incremento de su rigidez concentra durante el terremoto un gran corte sísmico que generalmente no pueden resistir, provocando la rotura de columnas adheridas a éstas. A posteriori, y durante el mismo sismo, puede ocurrir que los restantes elementos resistentes no sean suficientes y se produzca el colapso total del edificio.

Por otra parte, esta situación no es aceptable ni aún teniéndola en cuenta en el análisis estructural, por cuanto el hormigón armado no soporta las altas tensiones de corte que aparecen en este caso.

Interacción con el diseño arquitectónico
Condiciona el subsistema funcional, espacio-formal. En especial en la disposición de ventanas altas, etc.

Pautas de compatibilización
Se debe eliminar esta situación, sin desvirtuar los objetivos del proyecto arquitectónico. Esto se logra con una compatibilización del diseño de aberturas.

1.2.2. Peso de las construcciones

Condicionantes del diseño estructural sismo-resistente
Las fuerzas sísmicas son proporcionales al peso de la construcción. Los coeficientes sísmicos, a su vez se incrementan con la al tura de los pisos respecto del terreno.

Interacción con el diseño arquitectónico
Condiciona el subsistema constructivo (materiales de construcción y tipologías constructivas).

Pautas de compatibilización

- En este caso, la reducción de las fuerzas sísmicas se puede obtener de diversas formas a saber:
- Reduciendo el paso de la construcción, lo que implica utilizar materiales livianos en pisos, azoteas, tabiques divisorios, revestimientos, etc.
- Estructura resistente, utilizando hormigones de arcilla expandida y mejorando el propio diseño estructural de las estructuras de hormigón armado.
- Diseño Arquitectónico: se debe tener en cuenta este objetivo durante el diseño arquitectónico; se recomienda ubicar los locales destinados a archivos, piletas, equipos pasados, etc., en los niveles inferiores.

Se consigue así, no sólo reducir las fuerzas sísmicas por el hecho que el coeficiente sísmico aumenta en los niveles superiores, sino también reducir, lógicamente, los momentos y corte sísmico.

1.2.3. Ductilidad

Condicionantes del diseño estructural sismo-resistente
A diferencia de los criterios de Diseño Estructural para cargas verticales y estáticas, el Diseño Sismo-Resistente se funda, especialmente, en la capacidad de deformación plástica que en la propia capacidad de resistencia.

El beneficio de las deformaciones plásticas se traduce en las estructuras sismo-resistentes de dos modos:

- Disipación de energía cinética o sísmica en el trabajo de deformación.
- Redistribución de tensiones y esfuerzos permitiendo una mayor eficacia de las estructuras.

Interacción con el diseño arquitectónico
Condiciona el subsistema estructural-constructivo (materiales, tipologías estructurales y constructivas).

Pautas de compatibilización
Se compatibiliza utilizando estructuras de alto grado de hiperestaticidad, aumentando así el número de articulaciones plásticas, las que actuarán como disipadores de energía sísmica, durante la acción sísmica.

El uso de estructuras aporticadas facilita este objetivo. Trae, sin embargo, el inconveniente, en edificios altos, de su flexibilidad. Además, en estos casos no está demostrado que las estructuras aporticadas de hormigón armado satisfagan convenientemente la demanda de ductilidad que su condición de flexible requiere.

El uso de estructuras rígidas como tabiques antisísmicos ofrecen poca ductilidad, por consiguiente requieren incrementar el coeficiente sísmico. Pero pueden ofrecer su mayor rigidez y alta capacidad de resistencia.

1.2.4. Torsión sísmica

Condicionantes del diseño estructural sismo-resistente

- Torsión estructural: resulta de la no coincidencia del centro de torsión con el centro de masa de la construcción.
- Torsión accidental: prevista en las normas sismo-resistentes aún para cuando el centro de torsión coincida con el centro de masa de la construcción.
- Torsión por deformabilidad de los entrepisos: esta situación aparece en edificios de formas especiales de tipo L, T, U, aún para cuando el centro de torsión coincida con el centro de masa.
- Torsión provocada por escalonamiento de la sismo-resistencia: esta situación se produce aún para estructuras resistentes simétricas, cuando un determinado escalonamiento de la sismo-resistencia provoca la rotura aislada de algún dispositivo resistente. Lógicamente, aparece una torsión sísmica imprevista.

Interacción con el diseño arquitectónico
Condiciona el subsistema constructivo, funcional y espacio-formal.

Pautas de compatibilización
Sólo en el caso de torsión estructural, los efectos pueden determinarse, pero subsiste la dificultad de mantener la relación rigidez-resistencia para columnas que teniendo las mismas dimensiones se encuentran a diferente distancia del centro de torsión. En efecto, el hecho que el corte sísmico en una columna provocado por un momento torsor es proporcional a la distancia al centro de torsión, da como resultado que si tenemos dos columnas iguales pero una, a distancia triple de la otra, la fuerza sísmica es también el triple de la segunda, Esto, a su vez, trae un problema de difícil solución en el sentido de dotar a las dos columnas de la misma relación rigidez-resistencia.

Sabemos que en la práctica se recurre a modificar la cuantía de hierro en las columnas de hormigón armado, o bien la forma de la sección, pero estos recursos dejan mucha incertidumbre.

Las restantes torsiones sísmicas son incontrolables.

En consecuencia, la torsión sísmica en general requiere:

- Coincidencia del (*C.* T.) y (C.M.)

- Formas simples, simétricas y compactas.
- Evitar plantas en forma de L, T, U, que den entrepisos largos y flexibles. Esta flexibilidad introduce un momento torsor incontrolable.

Definir el rol de los muros y tabiques con total precisión, que permita incluirlos en la sismo-resistencia total del edificio o desvincularlos de la misma.

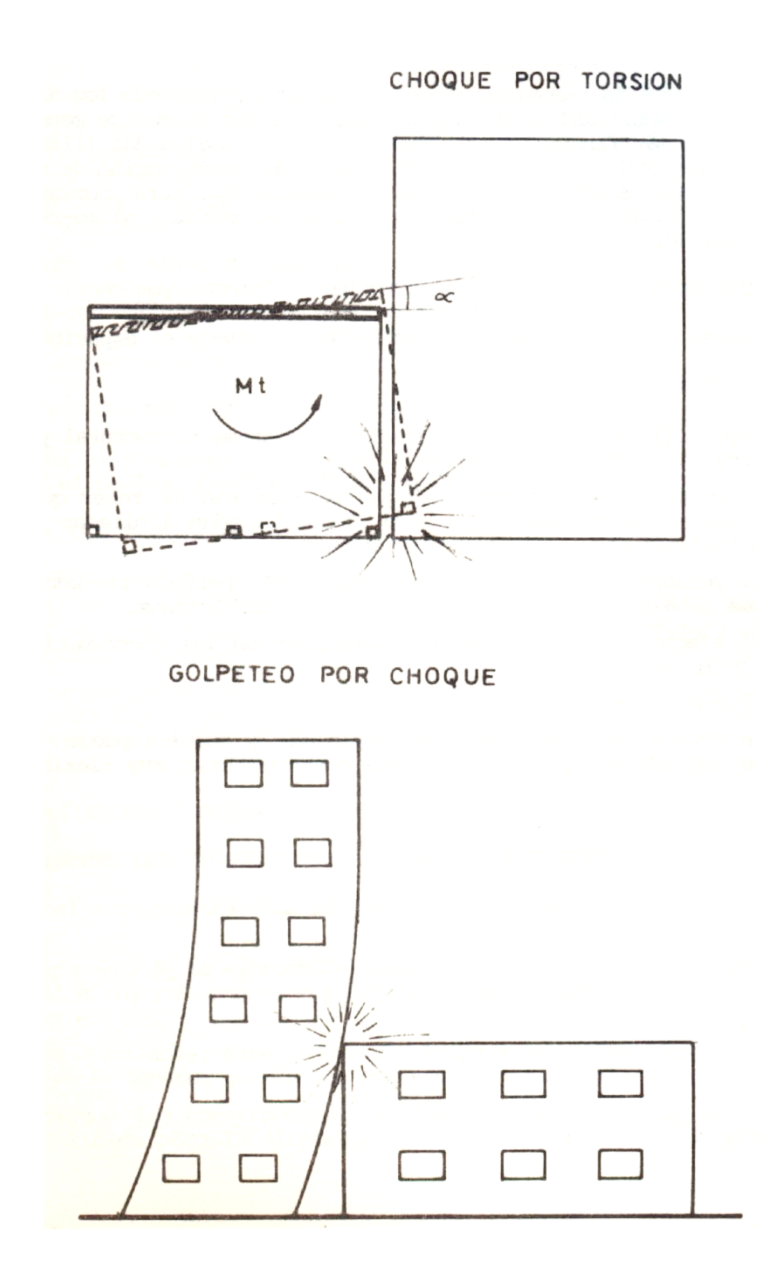


Figura 1.4. Representación de la torsión sísmica.
Según, Yépez, Fabricio, Alex H. Barbat y Josep A. Canas. 1995.

ISBN: 978-84-17429-28-7
Proyectos II. Técnicas de conservación y mantenimiento - UJI -
DOI:http://dx.doi.org/10.6035/Sapientia144

1.2.5. Simetrías

Condicionantes del diseño estructural sismo-resistente
Simetría de planta y estructura, en formas compactas, permite eliminar efectos torsionales. Esta ventaja es tanto más necesaria cuanto más alta es la construcción.

Las simetrías en altura permiten evitar cambios bruscos en las rigideces y masas. Situaciones que facilitan la concentración de energía sísmica, facilitando colapsos parciales y consecuentemente el escalonamiento de la sismo-resistencia.

Interacción con el diseño arquitectónico
Condicionan el subsistema funcional, espacio-formal y constructivo.

Pautas de compatibilización
La compatibilización exige edificios compactos, simétricos y modulados tanto en planta como en altura.

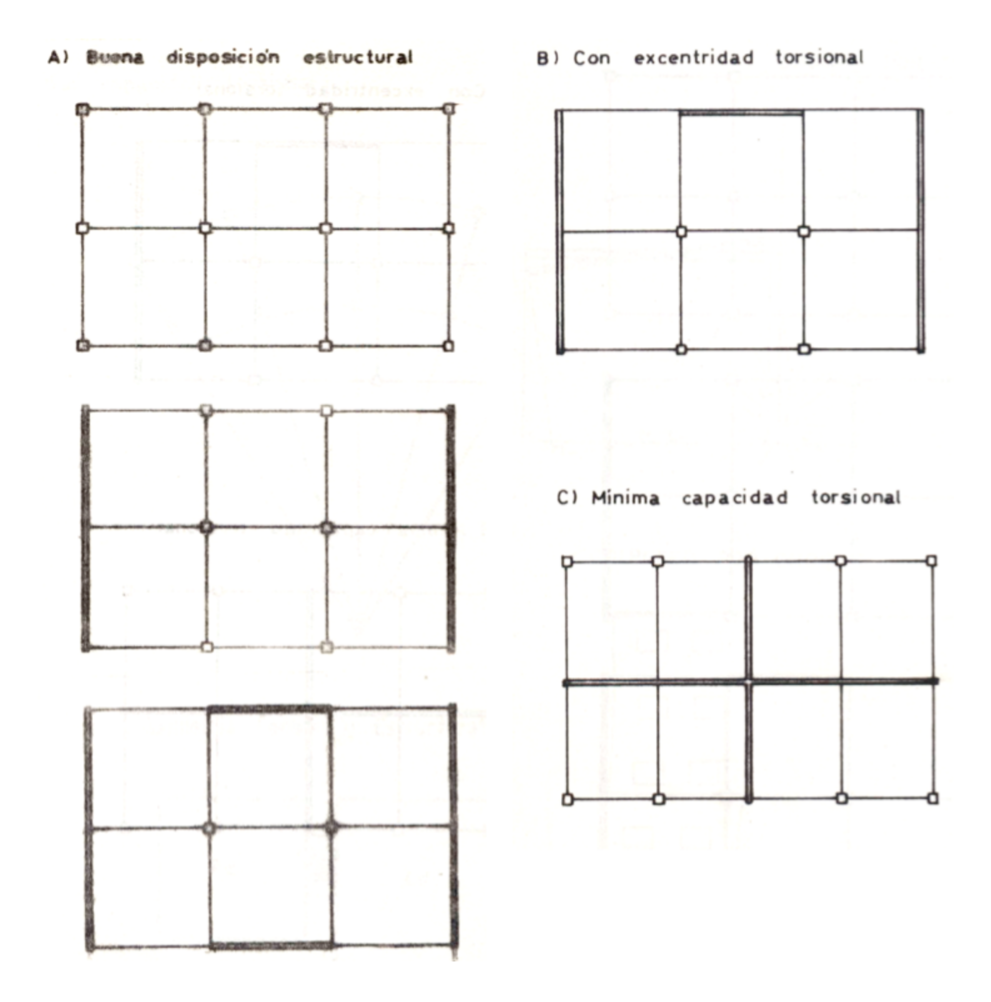


Figura 1.5. Diseño estructural sismo-resistente.
Según, Yépez, Fabricio, Alex H. Barbat y Josep A. Canas. 1995.

1.2.6. Juntas

Condicionantes del diseño estructural sismo-resistente
Estas son necesarias en los siguientes casos:

- Juntas de dilatación.
- Junta de separación de cuerpos de un complejo arquitectónico (estas son necesarias para separar cuerpos de diferentes alturas).
- Juntas de separación de edificios colindantes.

En todos los casos las juntas pueden provocar el choque de edificios y ser causa de colapsos parciales y del escalonamiento de su capacidad de resistencia sísmica, poniendo en peligro la seguridad total del mismo.

Se hace necesario, cuando sea inevitable adoptar mecanismos que amortigüen los choques. Por ejemplo el uso de placas de neopreno.

Interacción con el diseño arquitectónico
Condiciona el subsistema funcional y espacio-formal.

Pautas de compatibilización

- Juntas de dilatación: Deben disminuirse al mínimo o directamente eliminarlas separando netamente los cuerpos.
- Juntas de separación de cuerpos: Deben disminuirse al mínimo o directamente eliminarlas mediante una separación neta de los diferentes cuerpos.
- Juntas entre edificios colindantes: Son generalmente inevitables. Están reglamentadas en las Normas Sismo-Resistentes. La tendencia actual es hacerla de mayor dimensión.

1.2.7. Planta flexible

Condicionantes del diseño estructural sismo-resistente
La existencia de una planta flexible frente a la mayor rigidez de los restantes trae consigo el siguiente problema:

Al ocurrir un terremoto, el corte sísmico de las plantas más rígidas es reducido y en cambio en la flexible es incrementado. Esto implica una gran demanda de disipación de energía concentrada en la más flexible.

Esto, a su vez, requiere ductilidad y resistencia en una cantidad muy difícil de satisfacer. Además, los ejemplos conocidos en terremotos anteriores nos indican categóricamente la inconveniencia de las mismas.

ISBN: 978-84-17429-28-7
Proyectos II. Técnicas de conservación y mantenimiento - UJI -
DOI:http://dx.doi.org/10.6035/Sapientia144

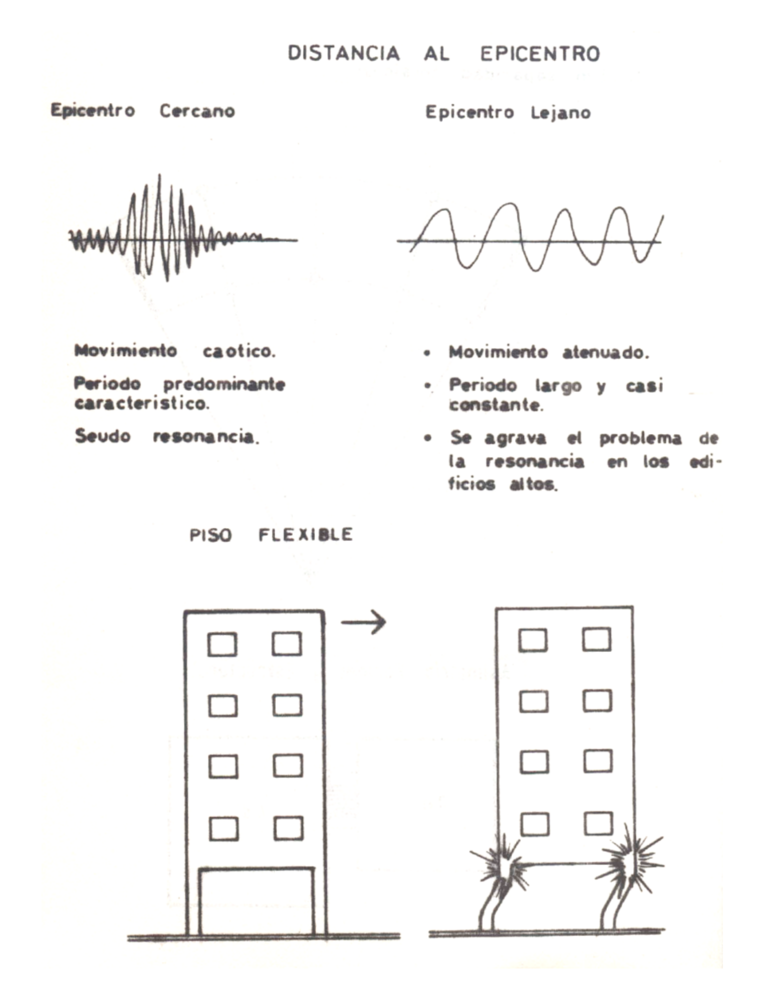


Figura 1.6. Esquema de un edificio con planta flexible. Según, Yépez, Fabricio, Alex H. Barbat y Josep A. Canas. 1995.

Interacción con el diseño arquitectónico

Condiciona el subsistema funcional. En especial, soluciones arquitectónicas que requieren planta libre en un determinado nivel, (salones de negocio, estacionamiento, etc).

Pautas de compatibilización

Se deben compatibilizar situaciones de esta naturaleza, incrementando la rigidez estructural de dicho nivel, hasta hacerla similar a la de los niveles restantes, con *mecanismos* sismo-resistentes adecuados. El diseño arquitectónico debe permitirlo, aun manteniendo la necesidad arquitectónica de la planta libre.

La rigidización de una estructura o edificio puede lograrse con tabiques sismo-resistentes de hormigón armado, tabiques en damero y/o diagonal en función de las solicitaciones (compresión o tracción).

1.2.8. Terreno de cimentación

Condicionantes del diseño estructural sismo-resistente
Las características cinemáticas del movimiento sísmico en un sitio determinado están ligadas a la geología de la corteza terrestre y a las condiciones estructurales del suelo de cimentación. A su vez, la respuesta dinámica de un edificio es función también de sus propias características dinámicas, distribución de masas y rigideces, amortiguamiento y ductilidad, y además de las características dinámicas del suelo en el lugar de emplazamiento de la misma (Interacción suelo-estructura).

En consecuencia, es necesario conocer las propiedades mecánicas del suelo de cimentación, ya que hay casos en que el suelo se comporta bien bajo cargas estáticas pero puede presentar serios problemas bajo cargas sísmicas, como en el caso del fenómeno denominado «licuación de suelos», por el cual el suelo tiende a comportarse como un líquido. Esta situación no se podrá solucionar con sólo aumentar el factor de seguridad de las cargas sísmicas consideradas, sino que la solución resultará necesariamente de la naturaleza del fenómeno.

Interacción con el diseño arquitectónico
Condiciona el subsistema estructural-constructivo.

Pautas de compatibilización
Evitar la localización de las construcciones en terrenos de alto potencial de licuación. Salvo que su fundación pueda llevarse al terreno firme, no licuable.

1.2.9. Distancia epicentral

Condicionantes del diseño estructural sismo-resistente
Las altas frecuencias del movimiento sísmico van absorbiéndose a medida que aumenta la distancia epicentral recorrida por las ondas sísmicas. El movimiento sísmico, consecuentemente, también se hace más armónico.

En síntesis, para un determinado sitio un sismo de epicentro cercano se caracteriza por su fuerte intensidad y períodos relativamente cortos y un sismo de epicentro lejano por su menor intensidad y período relativamente largo. Además, en este último caso, se acerca mucho a un movimiento vibratorio armónico.

Sin embargo un sismo de epicentro lejano puede afectar un estrato de terreno blando muy sensible a periodos largos y producirse un fenómeno de cuasi-resonancia y amplificar notablemente la excitación sísmica.

Interacción con el diseño arquitectónico
Condiciona e l subsistema estructural-constructivo. En especial interacciona en el período fundamental del edificio.

Pautas de compatibilización
Esta situación puede exigir, en el caso de edificios altos, una estructuración más rígida que la que nos pueden dar las estructuras porticadas, tales como las que se logra con el uso de tabiques sismo-resistentes.

1.2.10. Edificio flexible o rígido

Condicionantes del diseño estructural sismo-resistente
En general una construcción rígida tiene las siguientes características:

- Mayor costo de la estructura, respecto de la construcción flexible, por los mayores cortes y solicitaciones sísmicas a que están sometidas
- Menos deformable, esto reduce el pánico, y los daños a objetos sueltos serán menores que en las construcciones flexibles.

Pareciera que las construcciones rígidas, en general, son preferibles a las flexibles pero la diferencia de costos, sobre todo en edificios altos, suele ser importante.

En estos casos la tranquilidad de los ocupantes se puede lograr evitando la deformabilidad de la estructura, para los sismos de menor intensidad pero más frecuentes, mediante defensas escalonadas (llamadas fusibles sísmicos). Esto consiste en dotar a la construcción de elementos rígidos pero de poca resistencia, de manera que para sismos severos fallen, dejando actuar, intacta, la real estructura sismo-resistente más flexible.

Interacción con el diseño arquitectónico
Condiciona el subsistema estructural-constructivo y el espacio-formal.

Pautas de compatibilización
La estabilización requiere definir el sistema estructural y también la función de los sistemas no-estructurales.

Post-terremoto:

Para las tareas de reconstrucción de asentamientos humanos existentes se debera tener en cuenta:

Informe:

- Toma de datos, estudio de la situación de los edificios y propuesta de intervención.

Post informe:
- Formular códigos de edificación diferenciados para las distintas zonas, de acuerdo al informe elaborado, para verificación de las estructuras resistentes de los edificios nuevos y consolidación de los existentes.

Rehabilitación y nueva ejecución:
- Mejorar los sistemas constructivos e incorporar otros nuevos, con los respectivos códigos de edificación.

2. Edificios existentes en centros históricos

2.1. *Estudios de vulnerabilidad observada a partir de levantamientos post-terremoto*

El procedimiento comienza con un levantamiento de los datos de cada edificio estudiado; a la vez que se investiga su vulnerabilidad, se real iza una evaluación del daño que sufrieron dichos edificios debido al terremoto ocurrido.

La clasificación del tipo de daño en los elementos de la estructura se describe en el siguiente apartado.

2.1.1. Tipo de daño considerado en cada elemento estructural

a) *Tipo de daño considerado en paños verticales*

Se consideran agrietamientos del tipo 1 al 9, tal como se observa en la figura 2.1. Las clases o calificaciones se rigen de la siguiente manera:

A. Ningún daño o daño despreciable.
B. Grietas capilares menores a 1 mm, comúnmente distribuidas en el panel.
C. Grietas tipo 1, 5 o 6, menores a 4 mm, grietas tipo 2, 3 o 7 menores a 2 mm.
D. Grietas tipo 1, 5 o 6, menores a 10 mm, grietas tipo 2, 3 o 7 menores a 5 mm. Presencia de grietas tipo 4, 8 o 9.
E. Grietas superiores a las de la clase D anterior.
F. Destrucción del edificio.

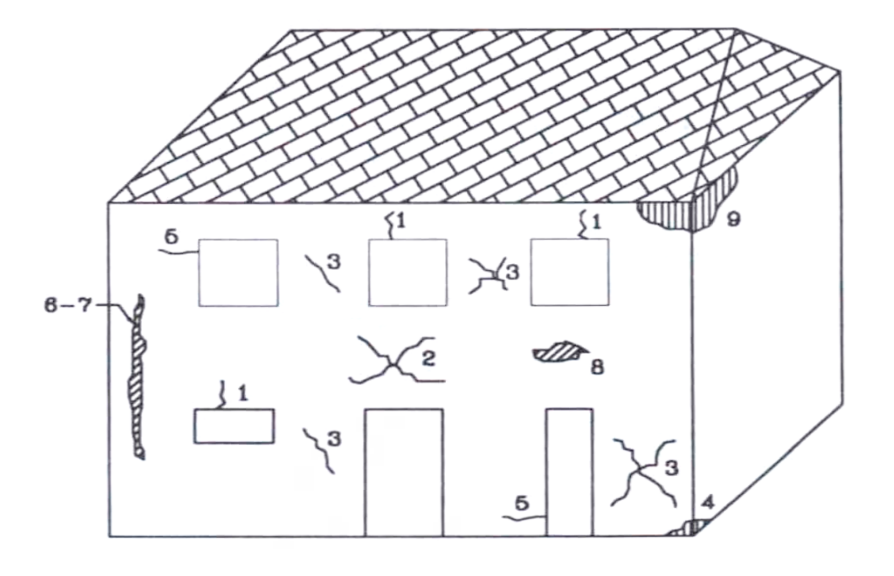


Figura 2.1. Representación de los tipos de daño en fábricas.
Según, Yépez, Fabricio, Alex H. Barbat y Josep A. Canas. 1995.

b) *Tipo de daño considerado en paños de mampostería en arco*

Se consideran agrietamientos del tipo 1 al 4, como se observa en la figura 2.2 (tipos de agrietamientos en muros de mampostería en arco) y las clases o calificaciones se obtienen de la siguiente manera:

A. Ningún daño o daño despreciable.
B. Grietas capilares menores a 2 mm, en arcos sin viga de borde.
C. Lesiones tipo 1 y 2, menores a 3 mm para arcos sin viga de borde. Lesiones tipo 1 y 2, menores a 2 mm para arcos con viga de borde. Síntomas de aplastamiento tipo 1 o 4 en arcos sin viga de borde.
D. Lesiones tipo 1 y 2, menores a 7 mm para arcos sin viga de borde. Lesiones tipo 1 y 2, menores a 4 mm para arcos con viga de borde. Relevancia de aplastamiento con expulsión de material para arcos sin viga de borde. Síntomas de aplastamiento en arcos con vigas de borde.
E. Otra situación que supere las indicadas. Colapso parcial.
F. Destrucción total.

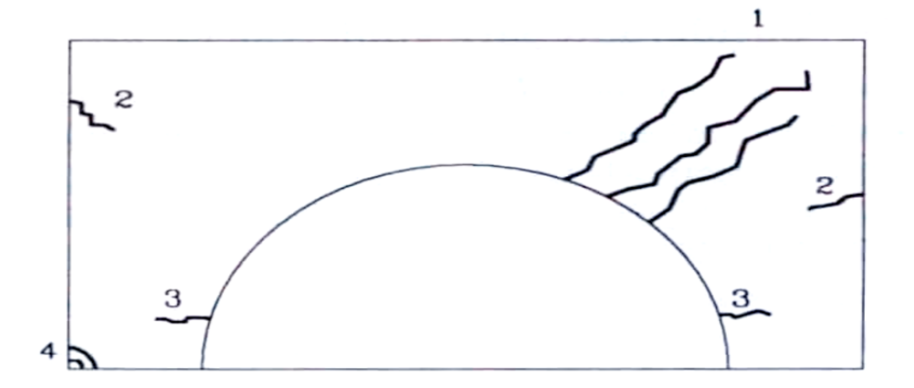


Figura 2.2. Representación de los tipos de daño en fábricas en arco.
Según: Yépez, Fabricio, Alex H. Barbat y Josep A. Canas. 1995.

c) *Tipo de daño considerado para cubiertas de teja sobre sub-estructura de madera o acero*

Considera el tipo de daño esperado en cubiertas de teja, las cuales normalmente requieren de una estructura de madera o de acero soportada sobre la parte más alta de los muros resistentes. La calificación del daño se hace de la siguiente manera:

A. Ningún daño o daño despreciable.
B. Caída de algunas tejas de los bordes de la cubierta.
C. Ligeras desconexiones en los bordes secundarios. Desconexiones en las tejas y/o caídas de hasta un 10 % de las tejas. Ligeros desplazamientos relativos de la cubierta de hasta 5 mm.
D. Desconexiones en bordes secundarios, desplazamientos relativos entre 5 y 30 mm, desconexiones in estables entre tejas y caída de hasta un 20 % de las mismas.
E. Colapso parcial de la cubierta, desmorone de los soportes principales.
F. Destrucción total de la cubierta.

d) *Tipo de daño considerado para cubiertas en arco de mampostería*

Considera el tipo de daño esperado en cubiertas de tipo arco de mampostería, para las cuales se debe utilizar la misma clasificación del daño que para los elementos verticales de mampostería en arco.

e) *Tipo de daño en escaleras de madera*

Para escaleras de madera, utilizadas muy frecuentemente en edificios antiguos de mampostería, puede clasificarse el daño de la siguiente manera:

A. Ningún daño o daño despreciable.
B. Lesiones menores a 1 mm en la conexión entre la mampostería y la escalera.
C. Lesiones menores a 3 mm e inicio de aplastamientos leves.
D. Lesiones menores a 6 mm con evidentes aplastamientos o desmoronamientos.
E. Lesiones menores a 10 mm con graves aplastamientos o desmoronamientos y colapso parcial de la estructura de la escalera.
F. Destrucción total de la escalera.

f) Tipo de daño en escaleras de mampostería

Para escaleras de mampostería, el tipo de daño puede clasificarse así:

A. Ningún daño o daño despreciable.
B. Lesiones menores a 1 mm, con fisuras de la mampostería tipos 2, 4, 6 y 8 (similares a grietas de paneles verticales), menores a 2 mm.
C. Lesiones entre 2 y 4 mm, síntomas de aplastamiento con fisuras tipos 2, 4, 6 y 8.
D. Lesiones entre 4 y 10 mm, con aplastamientos considerables y fisuras tipos 2, 4, 7, 8 y 9.
E. Situación más grave a las descritas anteriormente. Colapso parcial.
F. Colapso total.

2.1.2. Determinación del índice de daño de la estructura

Una vez completada toda la información del daño en los elementos de cada estructura a analizarse, el siguiente paso es evaluar el índice de daño económico global del edificio Figura 2.3 (La norma española un grado más (tabla 2.1) con respecto a la escala MSK-92 que se muestra).

	Grado 1: Daño leve o despreciable (daño no estructural). Fisuras capilares en muy pocos paneles; caída de pequeños pedazos de los enlucidos. Caída de bloques de piedra sueltos de partes altas de los edificios solamente en muy pocos casos.
	Grado 2: Daño moderado (ligero daño estructural, moderado daño no estructural). Fisuras en varios paneles; caída de grandes pedazos de enlucidos; caída parcial de chimeneas.
	Grado 3: Daño substancial y severo (daño estructural moderado, daño no estructural severo). Grietas largas y extensas en muchos paneles; caída de partes de madera y teja. Chimeneas destruidas en la línea de cubierta; fallo en elementos no estructurales individuales.
	Grado 4: Daño muy severo (daño estructural severo, daño no estructural muy severo). Agrietamientos y fallos muy serios en los paneles; parcial colapso estructural.
	Grado 5: Destrucción (daño estructural total). Colapso total o muy cerca del colapso total del edificio.

Figura 2.3. Grados de daño en estructuras de fábrica.
Según, Yépez, Fabricio, Alex H. Barbat y Josep A. Canas. 1995.

La escala MSK-92 ha sido actualizada por las escalas EMS'92 y EMS'98 que básicamente corresponden a la misma definición dando una mayor precisión en los términos de cantidad y en las definiciones de los tipos de construcciones.

Así, una vez calificados los grados de daño en dichos elementos en la escala (A-F) descrita en el apartado anterior, es posible expresar una relación entre el grado de daño y el índice de daño global de la estructura (tabla 2.1.1 Relación adoptada entre grado e índice de daño global), obteniéndose finalmente el índice buscado.

Las razones por las que se adopta este procedimiento responden a los siguientes aspectos:

- De estudios estadísticos se ha observado que el daño en los elementos de la estructura resistente vertical es el de más influencia, comparado con el daño en elementos horizontales o con el daño en escaleras.
- No se ha encontrado ninguna referencia que sugiera de forma clara y concisa la manera de evaluar el índice de daño global de la estructura a partir de la combinación de los efectos de todos sus elementos.
- La gran mayoría evalúa directamente un índice global utilizando las definiciones de las escalas de intensidad, como se observó anteriormente, lo cual se muestra más dependiente del subjetivismo del observador.

Tabla 2.1. *Grado e índice de daño relativo.*

Grado de Daño	Índice de Daño Global Adoptado
A	0%
B	10%
C	25%
D	50%
E	75%
F	100%

Tabla según, Yépez, Fabricio, Alex H. Barbat y Josep A. Canas. 1995.

2.1.3. Peritación post-terremoto

Para acometer una peritación post-terremoto se realiza una visita de reconocimiento a la zona del siniestro, en conjunto con los técnicos competentes del servicio geológico regional y el equipo de técnicos forenses encargados de llevar a cabo el análisis exhaustivo de los daños y colapsos. Se inspeccionan diferentes lugares y se investigan edificios dañados por los terremotos. Se cuenta con la ayuda del personal técnico municipal y si hiciera falta los demás cuerpos de asistencia en catástrofes, Protección Civil, Bomberos, etc...

Se procede a realizar un levantamiento tanto de primer nivel como de segundo nivel, para la cuantificación del daño y para la evaluación del índice de vulnerabilidad de las estructuras de mampostería existentes. Para ello, se elabora previamente un formulario eficiente, con instrucciones detalladas de los datos mínimos indispensables requeridos para aplicar la metodología al estudio.

Esta labor es imprescindible para facilitar la labor de levantamiento y agilizar la obtención de datos. Durante el trabajo de campo, que se debe llevar a cabo a las pocas horas posteriores al sismo principal, se deben reconocer las más importantes deformaciones de los principales edificios del centro urbano objeto de estudio. La sistemática del estudio debe consistir en la división del equipo para acceder a todos los edificios dañados con el objetivo de reconocer, clasificar y orientar los daños producidos dentro de un mismo punto de vista para poder desarrollar una cuantificación sistemática.

Tabla 2.2. Efectos sísmicos a tener en consideración ante cualquier estudio.

a. EFECTOS COSÍSMICOS (DIRECTOS)		
EFECTOS GEOLÓGICOS	Efectos geológicos primarios	Escarpes de falla
		Levantamientos / hundimientos
	Efectos geológicos secundarios	Licuefacciones
		Deslizamientos
		Caída de bloques / desprendimientos
		Maremotos
		Colapsos en cavidades
EFECTOS EN LAS FÁBRICAS DE LAS CONSRUCCIONES	Por deformación permanente del sustrato	Pavimentos de argamasa plegados
		Fracturas y pliegues en enlosados regulares
		Fracturas y pliegues en enlosados irregulares
		Impactos entre el enlosado
		Contrafuertes desplazados y girados
		Muros basculados
		Muros plagados
		Muros desplazados
	Deformaciones instantáneas a la vibración	Fracturas penetrativas en bloques de sillería
		Fracturas conjugadas en muros de ladrillo
		Columnas caídas y orientadas
		Giros en bloques de sillería y columnas
		Bloques de sillares desplazados
		Arcos desplazados
		Escalones y líneas de bordillo plegadas
		Muros colapsados (i. restos humanos y objetos de valor)
		Bóvedas colapsadas
		Marcas de impacto
		Roturas en esquinas de bloques

b. EFECTOS POSTSÍSMICOS (INDIRECTOS)		
EFECTOS REGIST.	Fenómenos involuntarios	Incendios
		Avenida súbita por embalsamientos de agua
	Decisiones voluntarias	Abandonos injustificados
		Pérdida de registros estratigráficos
EFECTOS CONSTRUC.	Acciones antrópicas	Construcción antisísmica
		Reparación con criterios de buena construcción
		Reparación somera y puntual
		Reciclado constructivo anómalo

Tabla adaptada por el autor

El formulario elaborado para realizar una cuantificación sistemática abarcando tanto el procedimiento de primer nivel como el de segundo nivel del método del índice de vulnerabilidad, debe quedar sintetizado en una sola encuesta (por ejemplo figura 2.4); en este formulario pueden observarse todos los datos requeridos para la estimación, tanto del índice de daño como del índice de vulnerabilidad de las estructuras de mampostería evaluadas.

La descripción de la información requerida por el formulario elaborado es la siguiente:

• *Datos generales*. Incluyen el número identificativo del edificio, el número de pisos, la dirección y la ciudad, la fecha en que se realizó el levantamiento y la identificación del observador que realizó la encuesta.

• *Parámetros del edificio*. La organización del sistema resistente, la tipología estructural, el estado de conservación, la posición del edificio y su cimentación, así como los elementos no estructurales, son calificados.

• *Tipologías de elementos*. Los elementos verticales, horizontales, de cubierta y tipo de escaleras son identificados por pisos, lo cual permite definir completamente el tipo de estructura dada la posibilidad de que no se empleen materiales o tipologías similares para todos los elementos o para todos los pisos; para ello aparece la columna *Nivel*, que es útil para este último caso.

• *Extensión y nivel del daño*. En primer lugar se tabula el grado de daño como porcentaje en intervalos del 10 % y se le asigna un número cardinal (0-9) de acuerdo al rango referido. Luego se utilizan cuatro tablas identificadas mediante el elemento estudiado, sean éstos elementos de la estructura vertical, horizontal, escaleras, vigas y dinteles. En cada tabla existen cuatro columnas, la primera (D máximo),

se refiere al tipo de daño máximo observado en los elementos correspondientes, la tercera (D+común) se refiere al tipo de daño más común o más extendido en esos mismos elementos y la segunda (Ext.+común) es la calificación mediante el número cardinal, que indicará el porcentaje de daño del tipo más común. La última columna (*Niveles*) cumple el mismo papel que la columna *Nivel* utilizada en la sección Tipologías de elementos, puesto que pueden darse diferentes tipos de daño máximo y daño más común y además con diferente extensión en cada nivel. Como ejemplo hipotético, si en la tabla de estructura vertical, en la primera fila apareciera: *D* - 4 - *B* - 2, esto significa que el máximo daño observado en los elementos de la estructura vertical es del tipo *B*, que el daño más común en esos elementos es del tipo *B* con una extensión 4 (entre el 40 y el 50 %) del elemento y todo esto en los dos primeros niveles. El tipo de daño en cada elemento se describió en el apartado 2.1.1.

• *Datos métricos*. Se incluyen las casillas para las mediciones de *Sx,y*, de la dimensión en planta del edificio en los sentidos *x* e *y* respectivamente, del espesor medio de los muros resistentes *t muro*, de la longitud total en planta de muros *Lx,y* en las direcciones *x* e *y*, todos ellos necesarios para la evaluación del parámetro 3 de la metodología; se incluyen también los términos *T / H* y *A . porche*, que son las relaciones de configuración en planta y el área de porche respectivamente, necesarios para la evaluación del parámetro 7; finalmente se debe especificar los términos *esp. muro*, es decir el espaciamiento máximo entre muros del parámetro 8 y los valores de *a* y *b*, correspondientes a las medidas de la figura 2.5 del siguiente apartado, que evalúan el parámetro 6.

• *Alturas*. Se especifica la altura de cada nivel del edificio, aunque la metodología utiliza una altura promedio para la evaluación de la resistencia convencional del mismo.

• *%Área/Área 1*. Se incluye para indicar el porcentaje del área del nivel considerado respecto al primer nivel, necesario en la evaluación del parámetro 7 de la metodología.

• *Observaciones*. Casilla final, donde se anota alguna información que pueda ser de utilidad posterior, como el tipo de uso que se le da al edificio, etc. En el apéndice 1 se incluye un manual detallado para el uso del presente formulario, indicando las posibilidades de llenar cada casilla con el objeto de facilitar su manejo.

FORMULARIO DE LEVANTAMIENTO DEL DAÑOS Y DE LA VULNERABILIDAD
PARA EDIFICIOS DE MAMPOSTERIA. METODO ITALIANO.

No. Edif =
No Pisos =
Dirección :
Ciudad :
Fecha :
Observ :

Organización Sistema Resistente :
Tipología Estructural :
Estado de Conservación :
Posición del edificio y cimentación :
Elementos no Estructurales :

Tipologías de Elementos

Vertical	Escalera	Horiz y cub	Nivel

Extensión y Nivel del Daños :

% daños	califica
D<=10%	0
10%<D<=20%	1
20%<D<=30%	2
30%<D<=40%	3
40%<D<=50%	4
50%<D<=60%	5
60%<D<=70%	6
70%<D<=80%	7
80%<D<=90%	8
90%<D	9

Estructura Vertical

D Máximo	Ext.+com.	D+comun	Niveles

Estructura Horizontal

D Máximo	Ext.+com.	D+comun	Niveles

Escaleras

D Máximo	Ext.+com.	D+comun	Niveles

Vigas y dinteles

D Máximo	Ext.+com.	D+comun	Niveles

Datos Métricos	
Sx (m) =	
Sy (m) =	
t muro (m) =	
Lx muro (m) =	
Lymuro (m) =	
T / H =	
A . porche (m2) =	
esp.muro (m) =	
a (m) =	
b (m) =	
Alturas (m)	**Niv**
% Area/Area 1	**Niv**

Observaciones :

Figura 2.4. Formulario tipo de levantamiento de daños y vulnerabilidad.
Según, Yépez, Fabricio, Alex H. Barbat y Josep A. Canas. 1995.

2.2. *Índice de vulnerabilidad en edificios de mampostería*

El formulario de levantamiento, consta básicamente de dos niveles: el primero, utilizado principalmente en las investigaciones post -terremoto, facilita la obten-

ción de datos del daño sufrido por los edificios; el segundo, es utilizado para realizar la evaluación del índice de vulnerabilidad de las estructuras.

En el formulario de primer nivel se detalla la información general de los edificios, tales como su localización geográfica, su localización en cartografías disponibles, el tipo de uso al que ha sido destinado, unos pocos datos del tamaño y tipología incluyendo materiales utilizados, datos sobre antiguas intervenciones y lo más importante, la descripción y cuantificación del daño observado en la estructura.

El formulario de segundo nivel constituye una descripción completa de los datos necesarios para obtener el Índice de vulnerabilidad.

Se han identificado once parámetros, considerados los más relevantes e influyentes en el daño que sufriría un edificio de mampostería no reforzado sujeto a la acción sísmica. Siete de estos parámetros son puramente subjetivos, mientras que los cuatro restantes se obtienen a partir de cálculos simplificados que aseguran versatilidad y agilidad a la evaluación del Índice de vulnerabilidad.

Cada parámetro es analizado detenidamente y calificado mediante una escala de A a D en forma decreciente, conforme la calidad del parámetro vaya también decreciendo.

2.2.1. Formulario para la obtención del índice de vulnerabilidad

a) *Tipo y organización del sistema resistente*

Con este parámetro se evalúa el grado de organización de los elementos de la estructura resistente vertical, sin tomar en cuenta el material utilizado. La calificación debe realizarse de acuerdo con la siguiente calificación:

A. Edificio construido de acuerdo a normativas sismo-resistentes.
B. Edificio que presenta conexiones realizadas mediante vigas o collares de amarre y enmarque de muros, utilizadas para transmitir las cargas verticales aplicadas a los muros en todos los niveles de la estructura.
C. Edificio que no presenta el tipo de conexiones del punto B en todos sus niveles, pero presenta buena ligazón entre sus paredes ortogonales resistentes.
D. Edificio que no tiene sus paredes resistentes bien ligadas.

Mediante este parámetro se trata de evaluar la eficacia de la estructuración existente, poniendo énfasis en evitar concentraciones de esfuerzos en puntos específicos de las paredes donde se descargan las acciones verticales, puesto que las vigas reparten mejor la carga aplicada.

b) *Calidad del sistema resistente. Tipología estructural*

Mediante este parámetro se evalúa el tipo de mampostería utilizada, diferenciándola cualitativamente por su resistencia. La calificación se efectúa tomando en cuenta dos factores: 1) el tipo de material utilizado y la forma del elemento de mampostería y 2) la homogeneidad de dicho material y de los elementos a lo largo de los paños de la estructura. Las instrucciones aceptan hasta 18 tipologías diferentes de mampostería, que van desde piedra maciza con diferentes calidades de tallado y de ligamento entre las piezas, hasta bloques y ladrillos de arcilla o de mortero-cemento, variando entre prefabricados, ladrillos cocidos, tipo de arcilla utilizada, existencia de un leve refuerzo, etc. La calificación se realiza como sigue:

A. Mampostería de ladrillo o bloques de buena calidad, mampostería de piedra bien tallada, con unidades homogéneas y de tamaños constantes a lo largo de todo el panel de mampostería, existiendo ligamento entre todas las unidades.
B. Mampostería de ladrillo, de bloques o de piedra bien tallada, con unidades no muy homogéneas en todo el panel.
C. Mampostería de piedra con unidades mal talladas y heterogéneas, bien trabadas entre ellas en todo el panel. Mampostería de ladrillo de baja calidad y sin ligamentos entre unidades.
D. Mampostería de piedra con unidades muy irregulares y sin trabazón, mampostería de ladrillo de mala calidad, incrustaciones de piezas no homogéneas y de pequeño tamaño, sin ligamento en todo el panel.

Se trata de tomar en cuenta la regularidad que podrían tener las propiedades del panel de mampostería y puntos débiles por donde el panel podría sufrir el fallo.

c) *Resistencia convencional*

Este es un parámetro que requiere cálculos sencillos pero conceptualmente importantes. Utilizando la hipótesis del comportamiento de estructura ortogonal, cerrada (tipo cajón), se puede evaluar con bastante fiabilidad la resistencia que puede presentar un edificio frente a cargas horizontales. Se emplea un concepto muy utilizado en estructuras y en normativas de edificación, el coeficiente sísmico C, definido como la relación entre la fuerza máxima resistente horizontal y el peso del edificio, descrito por la ecuación:

$$C = \frac{a_o \ \tau_k}{q \ N} \sqrt{1 + \frac{q \ N}{1.5 \ a_o \ \tau_k \ (1 + \gamma)}}$$

Donde N es el número de pisos del edificio; Tk es la resistencia a cortante de los paños de mampostería que, si no existe la posibilidad de obtener dicho valor mediante ensayos estándar de laboratorio pueden adoptarse, por ejemplo, los recomendados en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. *Valores recomendados de esfuerzo cortante máximo para muros de mampostería.*

Tipo de material	Esfuerzo cortante
ladrillo macizo, calidad regular	6 – 12 T/m^2
piedra mal tallada	2 T/m^2
piedra bien tallada	7 – 9 T/m^2
ladrillo macizo, buena calidad	18 T/m^2
bloque macizo, mortero-cemento	18 T/m^2
mampostería nueva, ladrillo macizo	20 T/m^2
mampostería nueva, bloque macizo	20 T/m^2
mampostería nueva, ladrillo/bloque hueco	18 T/m^2

Tabla adaptada por el autor

El resto de parámetros de la ecuación vienen establecidos por las siguientes expresiones:

$$A = min\ [A_x\ ;\ A_y]$$

$$B = max\ [A_x\ ;\ A_y]$$

$$a_o = \frac{A}{A_t}$$

$$\gamma = \frac{B}{A}$$

$$q = \frac{(A+B)\ h}{A_t}\ P_m + P_s$$

donde *At*, es el área total cubierta en planta (m^2) , *Az , Ay* son las áreas totales resistentes de muros en la dirección *x* e *y* respectivamente (m^2) , *h* es la altura promedio de entrepisos (m), *Pm* es el peso específico de la mampostería (T/m^3) y *Ps* el peso por unidad de área de forjado (T/m^2).

Cuando los paneles resistentes no siguen las direcciones ortogonales *x* o *y*, sino que forman un ángulo *ß* diferente de cero con dichos ejes, los valores de *Az* y de *Ay* se evalúan multiplicando dichas áreas por $(\cos ß)^2$.

Como puede observarse, el valor de *q* es el peso promedio de un piso por unidad de superficie cubierta, como contribución tanto del peso de los paneles como del peso de los forjados.

Para el parámetro C se fija un valor arbitrario del coeficiente sísmico: $\hat{C} = 0.4$, a fin de calcular el valor normalizado: $\alpha = C / \hat{C}$ que permite la calificación apropiada de la estructura:

A. Estructura con un valor de $\alpha \geq 1$
B. Estructura para valores comprendidos entre $0.6 \leq \alpha \leq 1$
C. Estructura para valores comprendidos entre $0.4 \leq \alpha \leq 0.6$
D. Estructura con un valor de $\alpha \leq 0.4$

Como puede apreciarse, el cálculo del coeficiente sísmico C es similar al requerido por los códigos de construcción, es decir, simplifica al máximo la evaluación de la resistencia al corte en la base del edificio en la dirección más desfavorable.

d) *Posición del edificio y de la cimentación*

Con este parámetro cualitativo se intenta evaluar, mediante una inspección a simple vista, la influencia del terreno y de la cimentación. El análisis se limita al de la consistencia y de la pendiente del terreno, a la posible diferencia entre las cotas de cimentación y a la presencia de terraplenes no equilibrados simétricamente. La calificación se especifica como sigue:

A. Edificio cimentado sobre terreno estable con pendiente inferior al 10 % y con todo el plano de cimentación a una misma cota, no existiendo además terraplenes de tierras no equilibrados.
B. Edificio cimentado sobre roca con pendiente entre ello y el 30 % o sobre suelo blando con pendiente entre ello y el 20 %. La diferencia máxima entre las cotas de cimentación no supera 1 metro y no existen terraplenes no equilibrados.
C. Edificio cimentado sobre suelo blando con pendiente entre el 20 y el 30 % o sobre terreno rocoso con pendiente entre el 30 y el 50 %. La diferencia máxima entre las cotas de cimentación no supera 1 metro y existen terraplenes no equilibrados.
D. Edificio cimentado sobre suelo blando con pendiente no menor al 30 % o sobre terreno rocoso con pendiente no menor a 50 %. La diferencia entre las cotas de cimentación superan 1 metro y existen terraplenes no equilibrados.

La evaluación de este parámetro parece incompleta y difícil, ya que la observación de cotas de cimentación no siempre es posible a simple vista, requiriéndose examinar los planos estructurales de la cimentación.

e) *Forjados horizontales*

La calidad del esquema resistente de piso tiene una notable importancia al influir en el buen funcionamiento de los elementos resistentes verticales. Se califican los siguientes aspectos:

A. Edificios con sistemas de forjados de cualquier naturaleza cumpliendo las tres condiciones siguientes:

   1. Deformabilidad despreciable en el plano del forjado.
   2. Conexión eficiente entre sistema de forjado y panel.
   3. Ausencia de planos a desnivel.

B. Edificios con sistemas de forjados como los del tipo *A* pero que no cumplen la condición 3.
C. Edificios con sistemas de forjados como los del tipo *A* pero que no cumplen las condiciones 1 y 3.
D. Edificios con sistemas de forjados de cualquier naturaleza, sin cumplir ninguna de las condiciones de los del tipo *A*.

A partir de experiencias en terremotos pasados, se ha observado que es de singular importancia que el sistema de forjado se encuentre bien conectado al sistema resistente vertical, para que pueda transmitir tanto las cargas verticales que soporta el edificio, como las horizontales debidas al sismo hacia los muros y de allí a la cimentación. Cuando dichas conexiones no se encuentran en estado aceptable, la vibración lateral de los paneles resistentes tienden a separarlos de los forjados, provocando la caída de estos últimos y el desarrollo de un gravísimo mecanismo de fallo con características de reacción en cadena con el resto de forjados; dicha reacción se producirá como consecuencia de altas cargas de impacto.

Por otro lado, la deficiencia de estas conexiones genera inestabilidad en la estructura global, perdiendo los forjados su capacidad de arriostrar los muros, aumentando con ello drásticamente la longitud de pandeo de los paneles y llegándose así a un debilitamiento drástico de su capacidad de recibir cargas. En resumen, este efecto podría causar el colapso total y violento de todo el edificio.

Estudios previos han demostrado analítica y experimentalmente que, si los forjados no tienen suficiente rigidez en su plano, pueden generar un comportamiento más débil de la estructura. La pérdida de las conexiones entre forjado y panel provocan fallos fuera del plano de los paneles de la estructura vertical, perdiéndose aquel comportamiento monolítico tipo cajón de la estructura.

f) *Configuración en planta*

La forma y la disposición en planta de los edificios son determinantes en su comportamiento ante excitaciones sísmicas. La asignación de las calificaciones posibles se puede explicar mediante la figura 2.5.

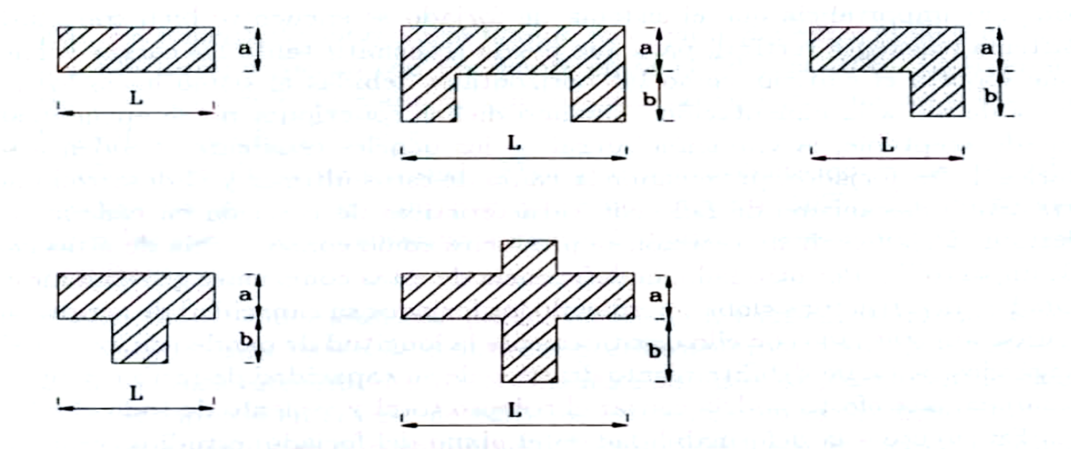


Figura 2.5. Parámetros evaluadores de la configuración en planta.
Según, Yépez, Fabricio, Alex H. Barbat y Josep A. Canas. 1995.

definiendo los parámetros $ß_1 = a / L$ y $ß_2 = b / L$, donde α representa la dimensión menor del edificio, L la dimensión mayor y b la dimensión de los elementos que sobresalgan de las dimensiones principales α y L de la planta.

La asignación de las calificaciones se realiza como se detalla a continuación:

A. Estructura con $ß_1 \geq 0.8$ ó $ß_2 \leq 0.1$
B. Estructura con $0.6 \leq ß_1 < 0.8$ ó $0.1 < ß_2 \leq 0.2$
C. Estructura con $0.4 \leq ß_1 < 0.6$ ó $0.2 < ß_2 \leq 0.3$
D. Estructura con $ß_1 < 0.4$ ó $0.3 < ß_2$

El método evalúa la condición de simetría en planta de los edificios, tomando el parámetro valores más altos cuando las dimensiones en planta se asemejan a secciones cuadradas sin protuberancias adicionales y penalizándose las secciones excesivamente alargadas o con protuberancias demasiado grandes, que pueden provocar problemas de torsión en planta y concentraciones de esfuerzos en las esquinas y en los elementos más alejados de los centros de gravedad y de rigidez.

g) Configuración en elevación

La irregularidad en elevación de edificios de mampostería suele estar determinada por la presencia de torretas y porches. Para evaluar la presencia de torretas puede recurrirse a la figura 2.6, en la cual se muestran las dimensiones consideradas para los parámetros H y T, con cuya relación se procede a la evaluación de este parámetro. Adicionalmente, se consideran factores como la variación de la masa δM entre pisos sucesivos [$\pm\delta M/M$(%)], donde M es la masa del piso inferior, o también la variación entre superficies δA de pisos consecutivos, especialmente para evaluar porches [$\pm\delta A/A$(%)], donde A es la superficie del piso inferior. Se considerará, para la calificación, el factor más desfavorable de la siguiente manera:

A. Estructura con - $\delta M/M < 10$ %.
B. Estructura con una superficie de porche menor al 10 % ó con 10 % $\leq - \delta M/M < 20$ %.
C. Estructura con una superficie de porche entre el 10 y el 20 % ó con $-\delta M/M >$ 20 % ó $T/H < 2/3$.
D. Estructura con una superficie de porche mayor al 20 %, con $\delta M/M > 0$ ó con $T/H > 2/3$.

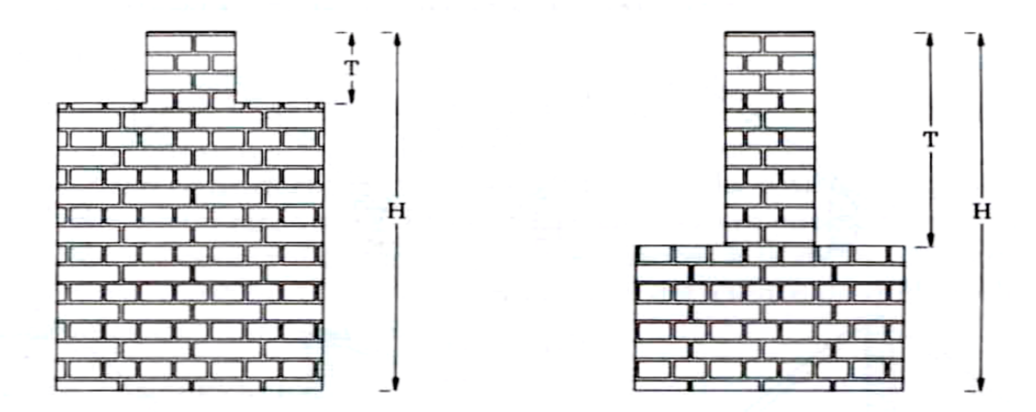


Figura 2.6. Parámetros evaluadores de la configuración en elevación. Según, Yépez, Fabricio, Alex H. Barbat y Josep A. Canas. 1995.

Se puede apreciar fácilmente que el método califica favorablemente la inexistencia de variaciones excesivas en la masa de dos pisos consecutivos o en la superficie del porche. Para su mejor evaluación se introduce también un tercer factor T / H, que toma en cuenta la variación de las dimensiones en altura.

h) *Espaciamiento máximo entre muros*

Este parámetro tiene en cuenta el posible espaciamiento excesivo entre muros ubicados transversalmente a los muros maestros. La clasificación se define en función del factor L/S, donde S es el espesor del muro maestro y L es el espaciamiento máximo entre muros transversales:

A. Estructura con $L / S < 15$.
B. Estructura con valores $15 \leq L / S < 18$.
C. Estructura con valores $18 \leq L / S < 25$.
D. Estructura con valores de $L / S \geq 25$.

Por lo tanto, no se puede aumentar el espaciamiento máximo, producto de la eliminación de muros internos secundarios, sin alterar la vulnerabilidad sísmica del edificio. Este es un típico efecto de las ampliaciones y remodelaciones arquitectó-

nicas que se realizan en las construcciones existentes, generalmente como consecuencia del cambio de uso de ciertos pisos en las edificaciones.

i) *Tipo de cubierta*

En este parámetro se tiene en cuenta la influencia del tipo de cubierta en el comportamiento sísmico de un edificio. Factores como su tipología y peso determinan dicho comportamiento. El peso ha sido ya tomado en cuenta de alguna manera en el parámetro 3, mientras que la tipología se analiza con la ayuda de la figura 2.7.

La clasificación se efectúa de la siguiente forma:

A. Presencia de cubierta estable con viga cumbrera o de soporte. Edificio con cubierta plana.
B. Presencia de cubierta estable y bien conectada a los paneles de mampostería, sin viga de soporte. Edificio con cubierta parcialmente estable provista de viga de soporte.
C. Presencia de cubierta inestable, pero con viga de soporte.
D. Presencia de cubierta inestable sin viga de soporte.

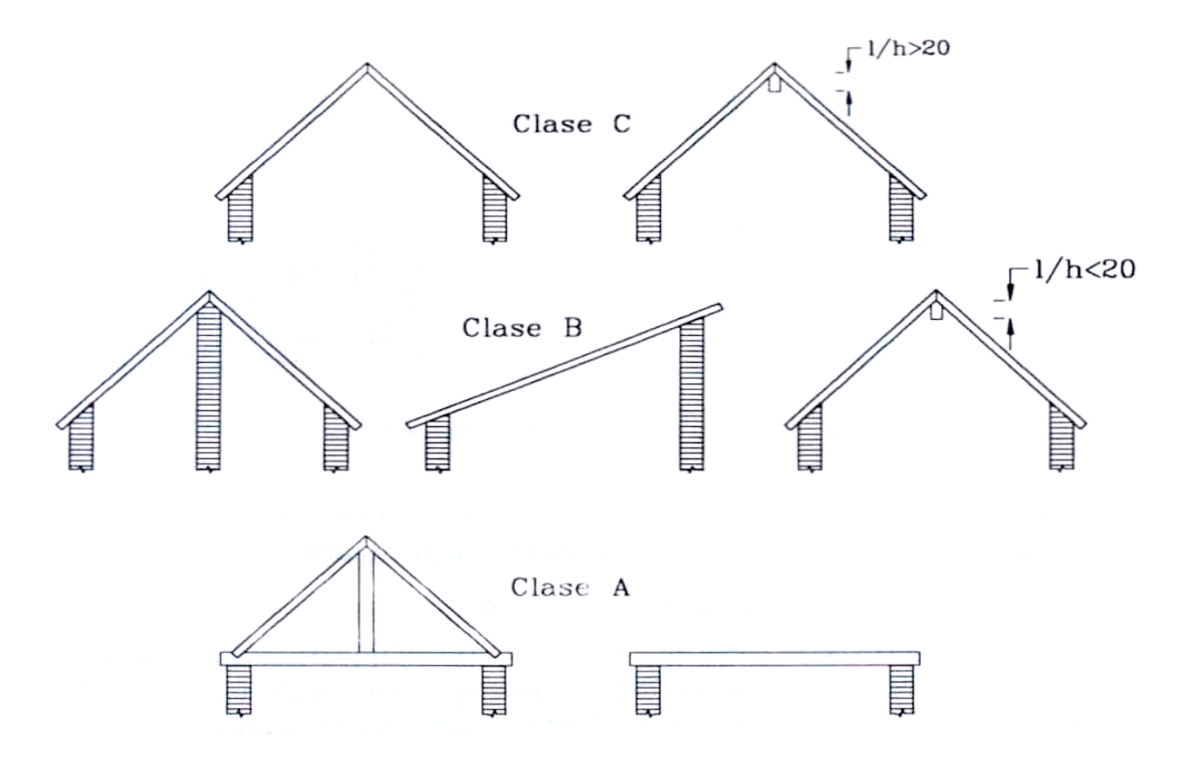


Figura 2.7. Parámetros evaluadores de la configuración de cubiertas.
Según, Yépez, Fabricio, Alex H. Barbat y Josep A. Canas. 1995.

Como se aprecia en la figura 2.7, la inestabilidad se refiere a la falta de apoyo en uno de los extremos de la cubierta sobre un elemento estructural resistente, que puede ser un panel o una viga de soporte. Tampoco se considera estable si el apoyo es una viga de soporte muy esbelta y de poco peralte.

j) *Elementos no estructurales*

Se intenta tener en cuenta el efecto de los elementos que no forman parte del esquema estructural resistente tales como cornisas, parapetos, balcones o cualquier elemento que sobresalga de la estructura y cuya caída pueda provocar víctimas. Debido a que constituye un parámetro secundario que no provoca un aumento de la vulnerabilidad de la estructura, sino que incluye el efecto de un peligro colateral, no se hace distinción entre los dos primeros niveles de calificación, expresándolos de la siguiente forma:

A/B. Edificio sin cornisas, parapetos ni balcones. Edificio con cornisas bien conectadas a los paneles, con chimeneas de pequeña dimensión y bajo peso. Edificio con balcones que son extensiones de los forjados estructurales.
C. Edificio con elementos externos a la estructura, de pequeña dimensión y mal conectados a la estructura principal.
D. Edificio con chimeneas o cualquier elemento externo a la estructura principal, de peso considerable y mal conectado a la estructura, que pueden caer en caso de terremoto. Edificio con balcones sin conexión a los forjados o con balcones construidos en etapas posteriores a la de la construcción de la estructura, existiendo por ello un vínculo deficiente de dichos elementos a los paneles de mampostería.

k) *Estado de conservación*

El estado de conservación en que se encuentra el edificio se califica de la siguiente manera:

A. Paneles de mampostería en buenas condiciones, sin daño visible.
B. Paneles con presencia de agrietamiento tipo capilar no extendido en todo el panel, con la excepción de los casos en que dicho agrietamiento ha sido provocado por terremotos.
C. Paneles con grietas de mediano tamaño (2 a 3 mm de espesor) o con agrietamiento tipo capilar de origen sísmico. Estructuras que no presentan agrietamiento, pero que se caracterizan por un estado mediocre de conservación de los paneles.
D. Paneles que presentan un grave deterioro en las características físicas de los materiales de construcción o con agrietamiento de espesor superior a 3mm.

2.2.2. Comentarios al formulario de levantamiento

Las calificaciones o «clases» se escogen según las instrucciones del formulario las cuales dejan poca ambigüedad en su definición, aunque hay que destacar que para cada parámetro considerado se utilizan cifras, cantidades, porcentajes, descripciones que obedecen necesariamente al buen juicio y a la experiencia de los expertos. Adicionalmente se observa que, en la práctica, sigue existiendo una cierta ambigüedad, lo cual pone de manifiesto que el subjetivismo del evaluador será importante. Afortunadamente, dicho subjetivismo no parece ser tan decisivo como en otros métodos.

2.3. *Evaluación del daño en mampostería*

2.3.1. Comportamiento de la mampostería

La mampostería es un material compuesto resultado de la interacción de ladrillos, cerámicos o de hormigón, y una pasta de mortero ligante. De esta combinación de materiales resulta un material con propiedades mecánicas anisótropas, es decir, se comporta de manera diferente según la dirección en que se solicite.

Desde el punto de vista estructural, el aspecto más importante que aportan las piezas de la mampostería es la resistencia a compresión, donde las propiedades del mortero no tienen mucha influencia.

Las propiedades mecánicas del mortero que más influyen en el comportamiento estructural de la mampostería son su deformabilidad y la adherencia entre las piezas. De la primera propiedad dependen en gran medida las deformaciones totales y en parte su resistencia a la carga vertical, factores caracterizados en función de la tipología de pétreo. Pero básicamente, la forma de ejecución, la traba y la adherencia entre el mortero y las piezas es lo que determina diferentes tipos de mampostería por la resistencia a cortante del elemento.

Tensiones

El comportamiento y modos de rotura de la mampostería ante cargas axiales depende sobre todo de la interacción entre las piezas y el mortero. Estos tienen características tenso-deformacionales diferentes, esto hace que al estar sometidos a un mismo esfuerzo se produzca una interacción entre ambos que consiste en que el material menos deformable, las piezas, restringen las deformaciones transversales del material más deformable, el mortero, de manera que se introducen, en este último, tensiones a compresión de dirección transversal. Por otro lado, en el material menos deformable se producen tensiones transversales de tracción, las cuales disminuyen su resistencia (Fig. 2.8).

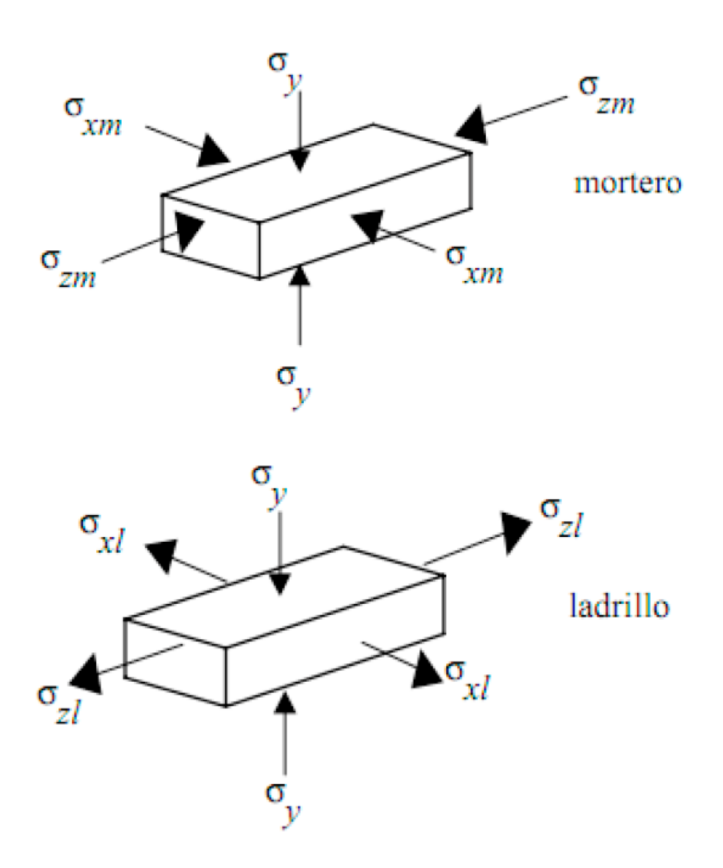


Figura 2.8. Características tenso-deformacionales de ladrillos.

Tipo de rotura

El tipo de rotura por compresión más común es el producido por *tracción lateral,* es decir, a través de grietas verticales en las piezas, producidas por las *deformaciones transversales* incrementadas por el efecto de las deformaciones del mortero en las juntas. Cuando este agrietamiento vertical es excesivo, se produce la inestabilidad del elemento y su fallo estructural.

Uno de los aspectos a tener en cuenta en elementos estructurales de mampostería es comportamiento al verse sometido a *tensiones diagonales*. En el caso que nos ocupa, las acciones sísmicas pueden llevar a este estado tensional a la mampostería, aunque existen muchas otras situaciones que llevan a este tipo de solicitación, como la existencia de asientos diferenciales o la acción de cargas gravitacionales cuando existe una distribución poco uniforme de cargas verticales sobre el muro. Este tipo de acciones tensionales son las que conducen con mayor frecuencia al fallo estructural del elemento.

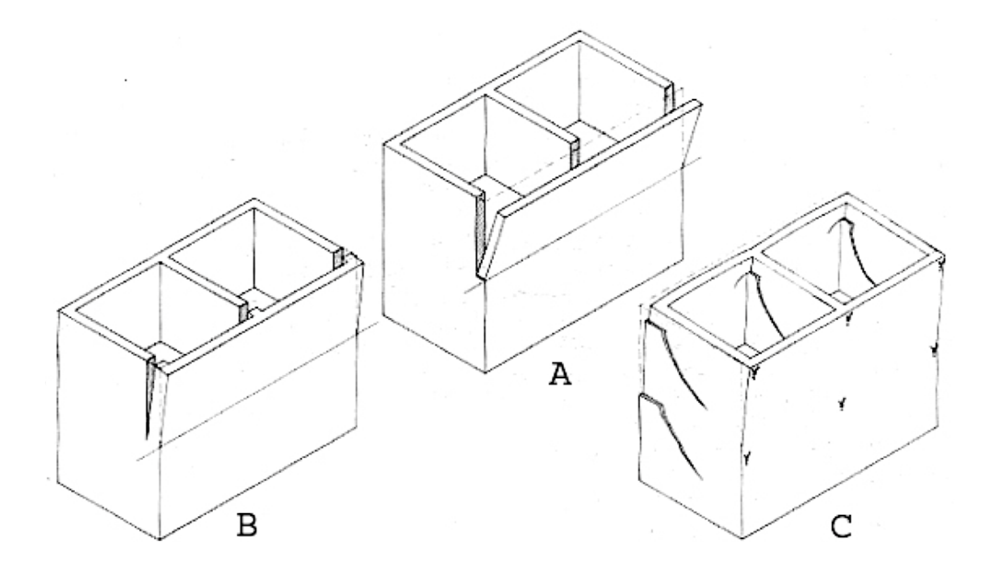


Figura 2.9. Patrones de rotura de muros en planta.
Según Doglioni, Francesco y Paola Mazzotti. 2007.

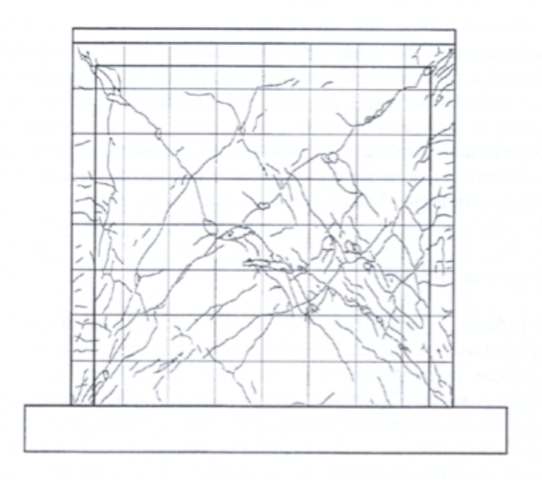
Fallo

El fallo de un muro por efecto de esfuerzos cortantes ocurre normalmente a través de grietas diagonales por efecto de tensiones diagonales. Estas grietas se forman generalmente a lo largo de las juntas, a causa de la debilidad de la unión entre la pieza y el mortero, aunque en piezas de baja resistencia y buena adherencia con el mortero, las grietas atraviesan tanto las piezas como el mortero.

2.3.2. Estudios analíticos, modelos de ensayo normativo

Los mecanismos de rotura de diferentes tipos de mamposterías, a pesar del distinto grado de anisotropía, son bastante parecidos. La principal diferencia detectada en el daño producido sobre la estructura modelizada según el ensayo normativo se produce en el pilar contrario al que se aplican los desplazamientos: al disminuir el grado de anisotropía aumenta el daño desarrollado en la cara exterior del pilar.

En resumen, aumentar el grado de ortotropía no produce grandes cambios en la ductilidad estructural ni en los mecanismos de rotura de esta misma, pero sí que reduce notablemente la capacidad de resistir esfuerzos horizontales a cortante, así mismo la energía disipada por la estructura es menor.



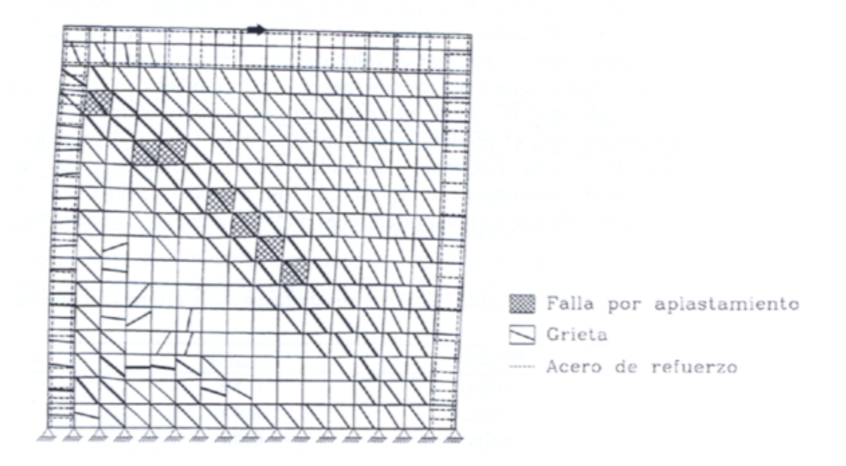


Figura 2.10. Patrones finales de agrietamiento; *a*) modelo experimental, *b*) modelo analítico mostrando la geometría deformada. Según, de Montserrat, Albert. 2011.

2.3.2.1. Daño local y mecanismos de rotura

El primer elemento estructural, en todos los casos, en sufrir daño estructural es la mampostería: se desarrolla una fisura en diagonal desde el nudo viga-pilar correspondiente al que se aplica la fuerza hasta la base del pilar contrario; en caso de la presencia de una apertura, la fisura se propaga desde las esquinas de esta. La figura 2.11., muestra los mecanismos de rotura en el pórtico de hormigón armado con una ventana con el marco reforzado en el cerramiento.

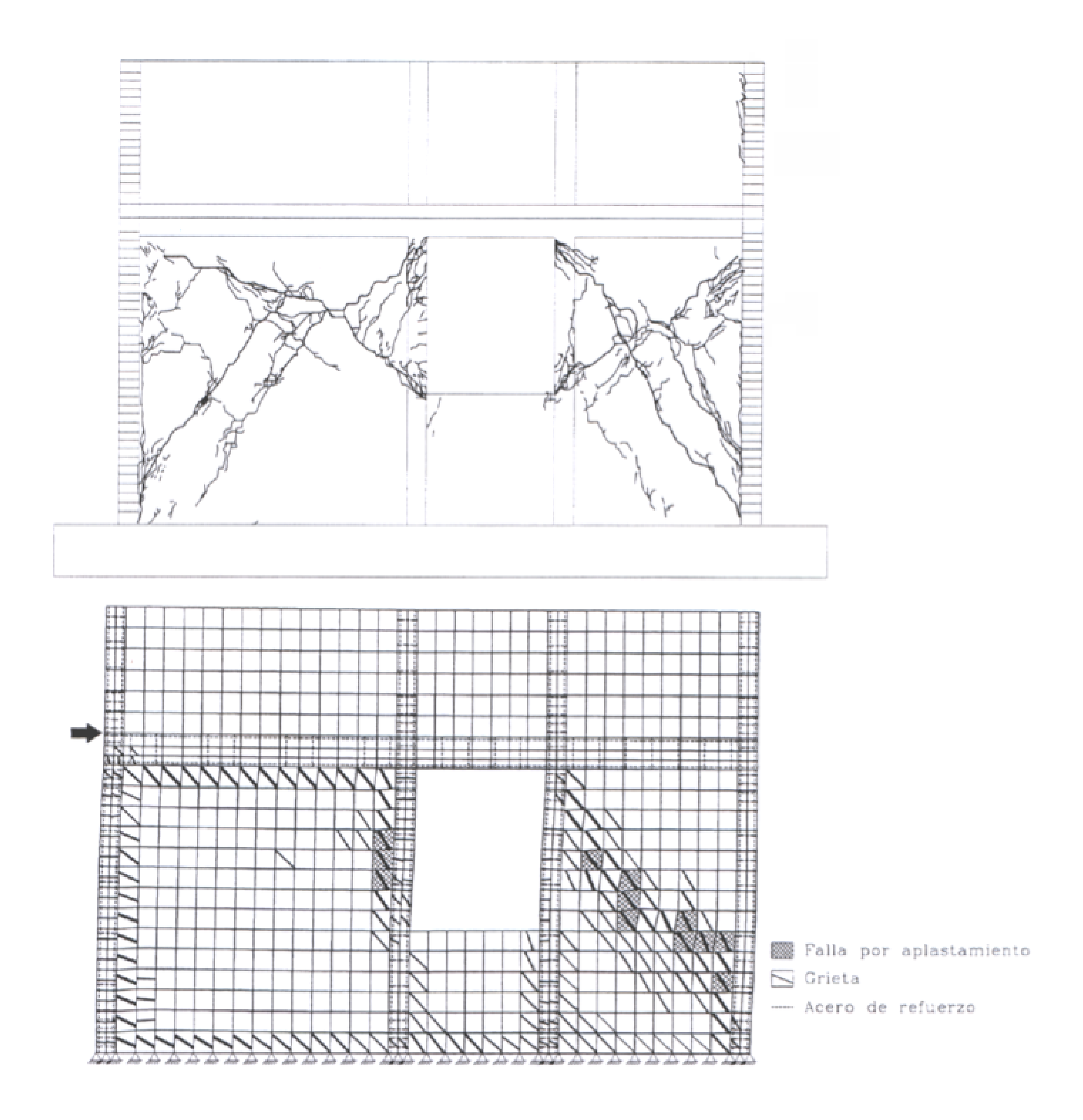


Figura 2.11. Patrones finales de agrietamiento; *a*) modelo experimental, *b*) modelo analítico mostrando la geometría deformada. Según, de Montserrat, Albert. 2011.

Posteriormente a la propagación de la fisura diagonal el daño se propaga en a través del contacto mampostería-viga y mampostería-pilar, a la vez que se desarrolla el daño en la base de los pilares y en los extremos de la viga del pórtico.

El daño sobre la mampostería es más localizado en el caso de que el hormigón del pórtico sea simple o subarmado debido a que, como se discutirá a continuación, es la «mampostería la que rompe al hormigón, y no el hormigón el que rompe a la mampostería». Cuando el hormigón está subarmado el daño local, producido sobre el hormigón y la mampostería, está muy localizado, mientras que en el hormigón armado el daño se propaga a lo largo del pórtico exterior y el daño sobre la mampostería es menos localizado. Esto indica que el acero de la armadura aumenta la capacidad de disipar energía de la estructura.

El refuerzo en la ventana otorga un aumento de capacidad a la estructura y consigue localizar un poco más el daño en la mampostería, aparecen nuevas fisuras diagonales que nacen de las esquinas de la ventana, y el efecto de *viga corta* es más evidente.

2.3.2.2. Muro de mampostería reforzado con encadenado

Gracias al refuerzo de un encadenado en el paño de mampostería se consigue evitar que se produzca el efecto de *pilar corto*, si bien en el refuerzo superior se produce el efecto de *viga corta*. La rotura de la mampostería es diferente a la que se produce cuando es el pórtico el que confina a la mampostería: la fisura se propaga de manera diagonal desde la esquina inferior hasta el «pilar» contrario, aproximadamente la mitad de la altura del muro, para posteriormente propagarse verticalmente.

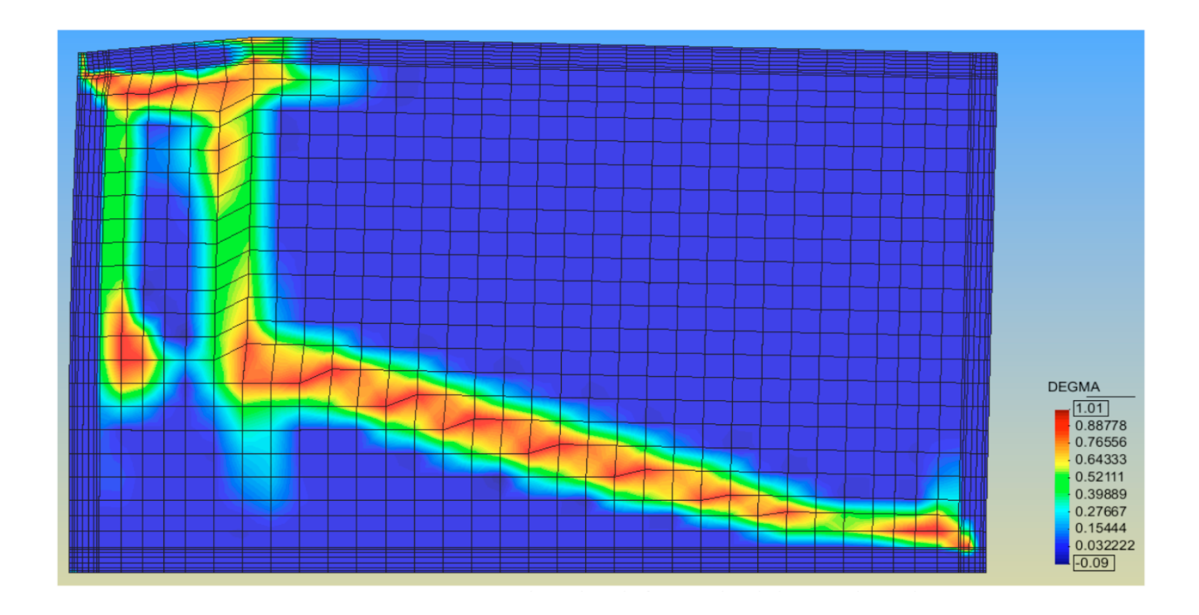


Figura 2.12. Daño local y deformada del encadenado.
Según, de Montserrat, Albert. 2011.

2.3.2.3. Conclusiones sobre la mampostería sometida a tensiones

- La presencia de cualquier tipo de cerramiento de mampostería produce un aumento considerable en la rigidez estructural. Esto provoca que la estructura se comporte de manera frágil, produciéndose la rotura a desplazamientos mucho menores y de manera más brusca, debido al daño de la mampostería de relleno.
- La armadura del hormigón es la encargada de dotar a la estructura de ductilidad estructural, con lo que, después de la rotura de la mampostería, la

estructura tienda a comportarse como un pórtico sin ningún tipo de cerramiento en su interior.

- La mampostería consigue aumentar, hasta dos veces, el valor de la resistencia a fuerzas laterales. En los pórticos con mampostería el aumento de la resistencia debido a la armadura es prácticamente nulo comparado con la resistencia que ofrece la mampostería.
- Los mecanismos de rotura obtenidos mediante el análisis numérico es consistente con los mecanismos de rotura observados en los casos reales: fisuras diagonales en la mampostería, efecto clavija y efectos de viga-corta y pilar-corto, etc.
- De los índices de daño global se puede deducir el comportamiento frágil para los primeros desplazamientos de la estructura, y el posterior comportamiento dúctil gracias al hormigón armado.
- El confinamiento de los muros de mampostería mediante la normativa NCSR-02 consigue dotar de cierta ductilidad al muro, aunque es insuficiente como para aguantar los efectos posteriores a la primera rotura brusca de la mampostería esfuerzos laterales.

3. Técnicas de intervención

3.1. *La mejora sísmica de edificios tradicionales de muros de mampostería y estructura de madera*

3.1.1. Introducción

Un símil tradicional ve al restaurador como un médico al frente de un edificio enfermo debido —por ejemplo— a la inestabilidad estática. Pero con respecto a la intervención frente a terremotos la intervención normalmente se desarrolla cuando el daño ya se ha producido. Lo que puede significar que la intervención se puede dar demasiado tarde.

Intervenir antes de que el daño se haya producido tiene un par de dificultades objetivas: a) se tiene que trabajar sobre una forma de colapso potencial, b) no se puede obtener la ayuda de la interpretación de un cuadro fisurativo.

Por lo tanto, la mejora sísmica de puede dar como reparación del daño manifestado o como una actuación preventiva. Así, con el fin de mejorar sísmicamente los edificios se debe reducir el riesgo sísmico en ellos. La mejora se puede obtener actuando sobre la vulnerabilidad de la edificación o en la peligrosidad de las acciones (por ejemplo, reduciendo o equilibrando las masas hacia la simetría).

El riesgo también se puede reducir con motivo de un cambio de uso previsto (por el cual se puede reducir tanto la peligrosidad como la sensibilidad) o a través de la inclusión en la estructura de elementos que favorezcan el comportamiento ante movimientos (actuando sobre el peligro de las acciones o de la vulnerabilidad).

«... Con el fin de cambiar el comportamiento [a fin de adecuarlo a un comportamiento similar al de los edificios de nueva construcción] las intervenciones son generalmente bastante invasivas y destructivas, lo que pondría en peligro el carácter histórico y la autenticidad de los elementos y materiales que se desearían mantener» (Francesco Doglioni, 2000)

«El objetivo de hacer compatible una mayor seguridad con la conservación de los monumentos, tiene como referencia reglas conceptuales y prácticas para su mejora» (Francesco Doglioni, 2000).

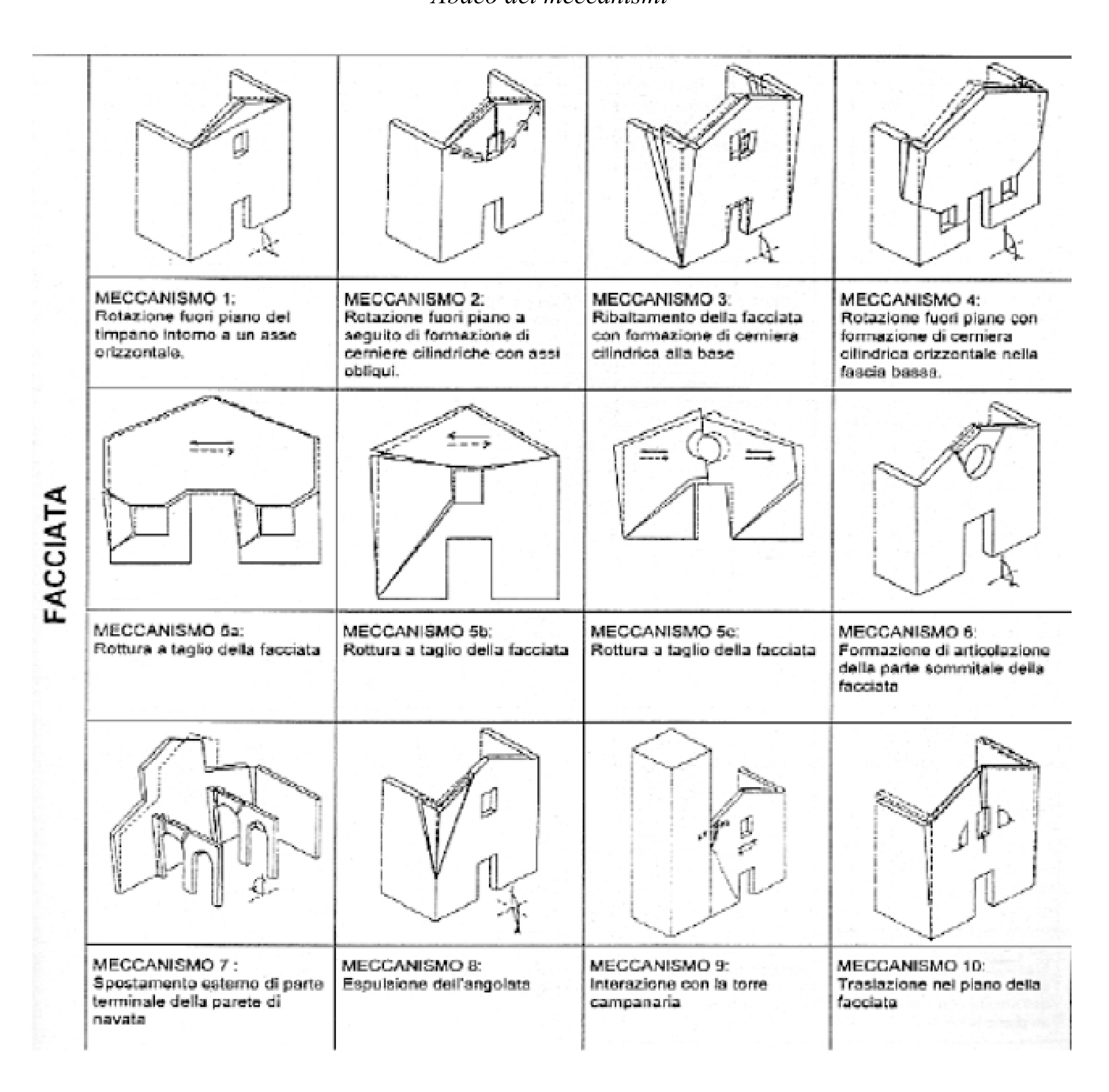
En este sentido, es importante contar con herramientas que nos permitan predecir el comportamiento que la estructura objeto de estudio pudiera tener en caso de un terremoto.

3.1.2. Identificación de la vulnerabilidad

3.1.2.1. Formas de vulnerabilidad típica

La preparación de los ábacos de las formas típicas de vulnerabilidad para ciertos tipos de edificios están diseñados para recopilar y poner de relieve los rasgos comunes entre los diversos daños realmente verificados en los edificios, se forman como la esquematización con objeto de identificar las principales características del problema y para simplificar el estudio (Fig. 3.1 y 3.2).

- Rotación fuera del plano
- Desplazamiento fuera del plano


FACCIATA
MECCANISMO 1:
Rotazione fuori piano del timpano intorno a un asse orizzontale.
MECCANISMO 2:
Rotazione fuori piano a seguito di formazione di cerniere cilindriche con assi obliqui.
MECCANISMO 3:
Ribaltamento della facciata con formazione di cerniera cilindrica alla base
MECCANISMO 4:
Rotazione fuori piano con formazione di cerniera cilindrica orizzontale nella fascia bassa.
MECCANISMO 5a:
Rottura a taglio della facciata
MECCANISMO 5b:
Rottura a taglio della facciata
MECCANISMO 5c:
Rottura a taglio della facciata
MECCANISMO 6:
Formazione di articolazione della parte sommitale della facciata
MECCANISMO 7 :
Spostamento esterno di parte terminale della parete di navata
MECCANISMO 8:
Espulsione dell'angolata
MECCANISMO 9:
Interazione con la torre campanaria
MECCANISMO 10:
Traslazione nel piano della facciata

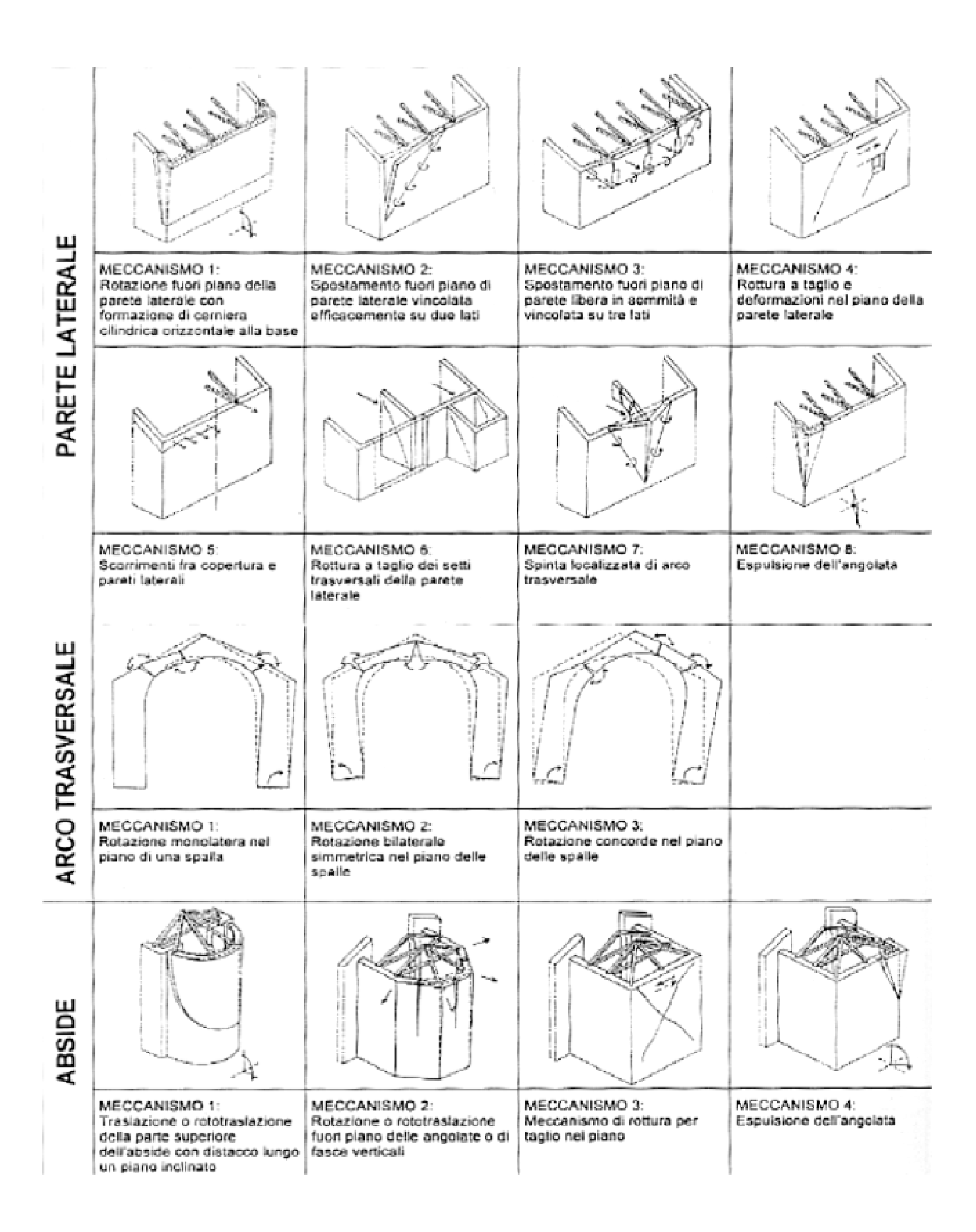
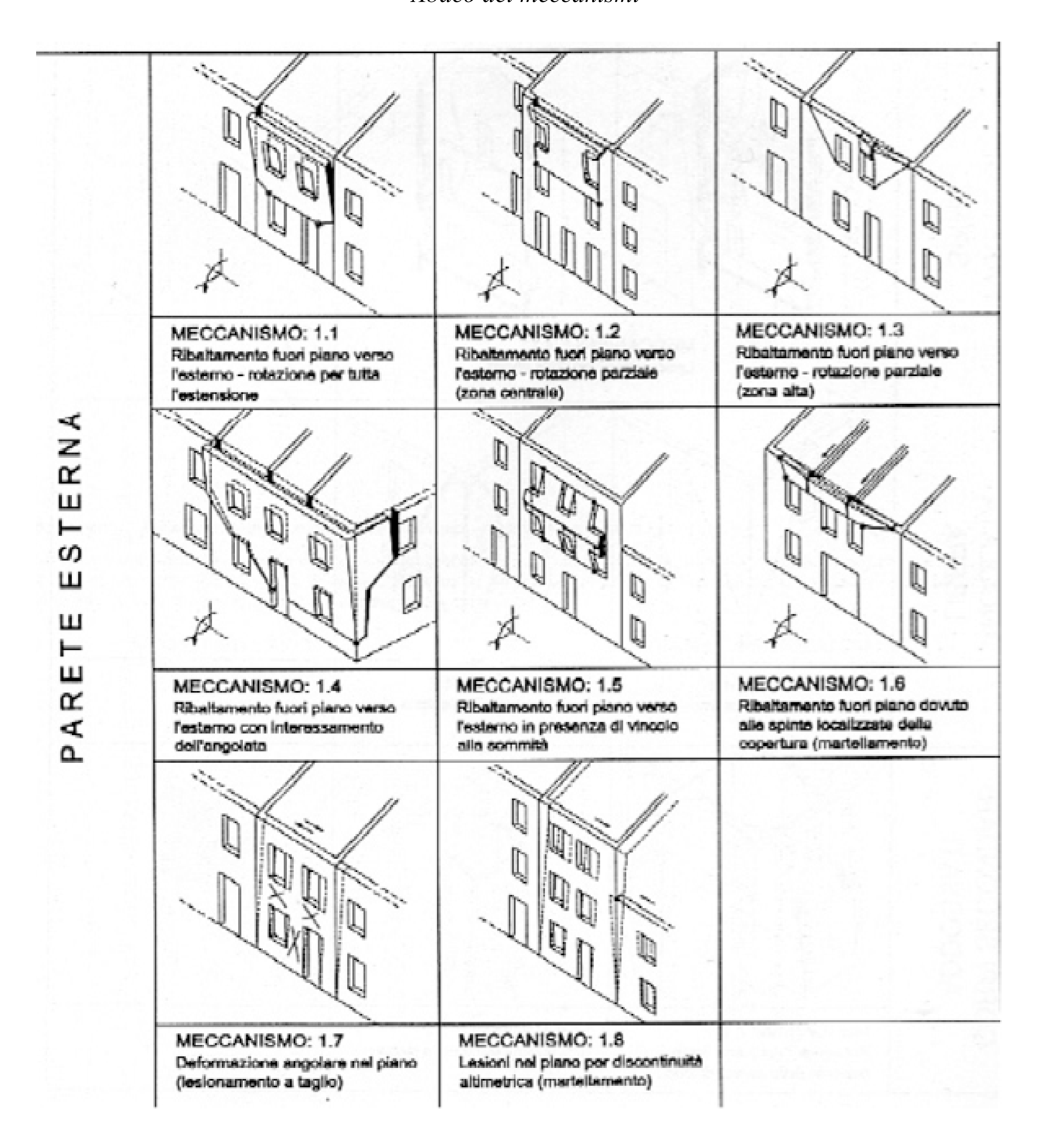


Figura 3.1. Ábaco de los mecanismos de colapso de las iglesias.
Según, Francesco Doglioni, *Codice di pratica (linee guida) per la progettazione*…,
Bol. Uff. della Regione Marche, Ancona, 2000.


PARETE ESTERNA
MECCANISMO: 1.1
Ribaltamento fuori piano verso l'esterno - rotazione per tutta l'estensione
MECCANISMO: 1.2
Ribaltamento fuori piano verso l'esterno - rotazione parziale (zona centrale)
MECCANISMO: 1.3
Ribaltamento fuori piano verso l'esterno - rotazione parziale (zona alta)
MECCANISMO: 1.4
Ribaltamento fuori piano verso l'esterno con interessamento dell'angolata
MECCANISMO: 1.5
Ribaltamento fuori piano verso l'esterno in presenza di vincolo alla sommità
MECCANISMO: 1.6
Ribaltamento fuori piano dovuto alle spinte localizzate della copertura (martellamento)
MECCANISMO: 1.7
Deformazione angolare nel piano (lesionamento a taglio)
MECCANISMO: 1.8
Lesioni nel piano per discontinuità altimetrica (martellamento)

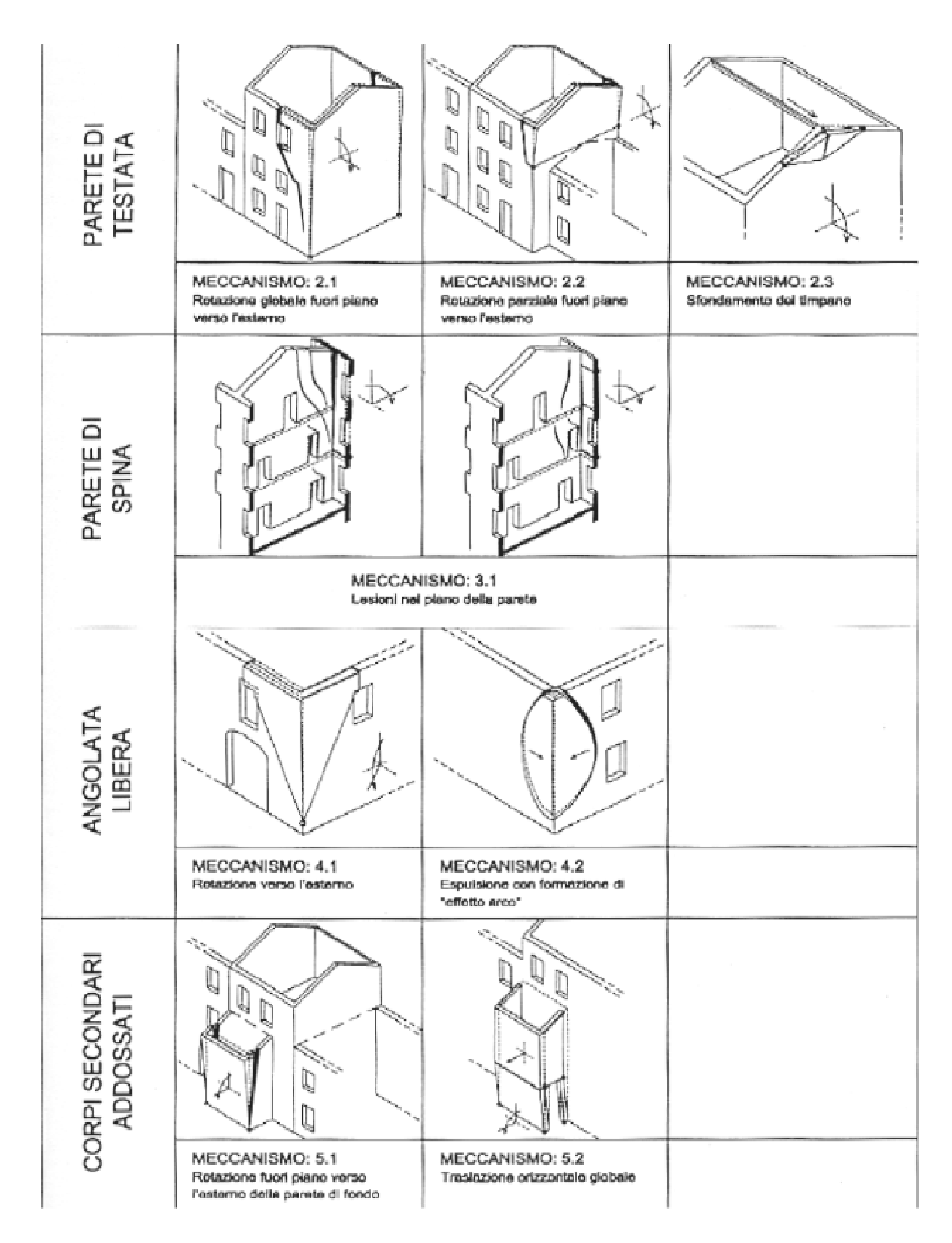


Figura 3.2. Ábaco de los mecanismos de colapso de los edificios.
Según, Francesco Doglioni, *Codice di pratica (linee guida) per la progettazione…*,
Bol. Uff. della Regione Marche, Ancona, 2000.

Juan Antonio García Esparza
ISBN: 978-84-17429-28-7
Proyectos II. Técnicas de conservación y mantenimiento - UJI -
DOI:http://dx.doi.org/10.6035/Sapientia144

3.1.2.2. Formas de vulnerabilidad específica

El estudio de las formas de vulnerabilidad que tiende a identificar aquellos factores que están en desventaja (local o difusa) del conjunto de los paramentos y que por lo tanto puede favorecer la activación de un mecanismo típico particular (entre los que ya están identificados) o causar otros diferentes. El estudio de la fábrica deberá estar dirigido a los conocimientos de los aspectos estructurales, constructivos y de la degradación propia de los materiales.

Francesco Doglioni, en su *Codice di practica*, identifica seis clases de formas de vulnerabilidad específica en factores relacionados con:

1. Métodos de construcción originales;
2. Los procesos de transformación en un edifico;
3. Falta de conexiones estructurales y defectos de los elementos de cobertura existentes;
4. Deterioro estructural e indebido mantenimiento;

Otras:

5. Patologías previas no suficientemente reparadas;
6. Recientes intervenciones estructurales realizadas con técnicas modernas.

1. *Vinculadas a los métodos de construcción originales*

1.1. La falta de cohesión de las paredes (ausencia de juntas; mala calidad del aglutinante, dinteles y jambas de puertas y ventanas (de piedra o de madera) no conectados con el resto de mampostería);
1.2. Elementos que reducen la sección de la pared (chimeneas, canalizaciones de pluviales o sistemas de la pared interna, nichos, escaleras internas a paredes gruesas);
1.3. Soluciones estructurales inadecuadas (empujes horizontales o inclinados, muros piñones o capiteles; elementos estructurales esbeltos o con sección insuficiente; vigas que descargan su propio peso en una sola parte de una pared doble mal trabada);
1.4. Distribución particular de las aberturas en las paredes (aberturas demasiado cerca de los bordes o entre ellos; aberturas no alineadas).

2. *Los procesos de transformación en un edifico*

2.1. Poca o ninguna conexión entre las estructuras existentes y estructuras añadidas (cuerpos añadidos a las paredes laterales con conexiones inadecuadas o inexistentes, elevaciones no conectadas adecuadamente);

2,2. Bajo la acción de elementos y/o muros de carga (apertura de ventanas; eliminación de los muros de carga con la inserción de arcos o vigas de descarga);
2,3. Soluciones estructurales inadecuadas (tabiques o pilares que descansan directamente sobre bóvedas o cualquier tipo de pavimento);
2,4. Relleno de aberturas (tapiado de puertas o ventanas con paneles murarios no correctamente conectados a los márgenes con el resto del paramento original).

3. *Falta de conexiones estructurales y defectos de los elementos de cobertura existentes*

3.1. Poca o ninguna conexión entre las paredes (conexión inadecuada entre las paredes dispuestas en T o L);
3.2. Poca o ninguna conexión entre la pared y el techo (apoyo de las vigas limitado o concentrado, ausencia de elementos que garanticen la continuidad del borde superior del muro);
3.3. Poca o ninguna conexión entre la pared y el piso (apoyo limitado de las vigas, y falta de otros elementos perimetrales de unión);
3.4. Contención inadecuada de las presiones (tirantes inadecuados por sección, por tamaño o por la forma de la placa de reparto, o por rotura; contrafuertes inadecuados por la posición, la forma, el tamaño, problemas en los cimientos o conexión deficiente con la pared de carga).

4. *Deterioro estructural e indebido mantenimiento*

4.1. El deterioro de la escayola y de las juntas (desintegración, separación o falta de revestimiento, disgregación o falta de juntas de mortero);
4.2. El deterioro de los elementos de mampostería de piedra (degradación propia de los elementos pétreos, —erosiones, fisuraciones por congelación-descongelación, exfoliaciones, disgregación… — tienden a sumarse a los daños estáticos creando un círculo vicioso);
4.3. La degradación de los elementos de madera (debido a la presencia de agua, los ataques microbianos o biológicos, o daños ocultos por un eventual incendio histórico);
4.4. La degradación de los elementos metálicos (elementos sujetos a fenómenos de oxidación avanzada o corrosión).

3.1.3. Metodología para las intervenciones de mejora[1]

«El concepto de limitar el trabajo de reforzar el mínimo necesario conduce a la utilización de «patrones de intervención» por lo que dotar al edifico de los estados

1. Para más información sobre este apartado (3.1.3) consultad los apuntes de la asignatura Conservación y mantenimiento de edificios, ED0941.

de equilibrio necesarios para estabilizar una fábrica, desde la solidarización de paredes hasta sistemas más complejos» (Gustavo Giovannoni)

Así, la adecuación dependerá de la existencia o no de un programa de conservación y de los niveles de seguridad, si estos son inciertos, difíciles o están predeterminados.

Pasos a seguir:

1. Conocimiento del objeto de estudio.

2. Proyecto del daño:

   a. El examen de la grieta;
   b. El examen de las formas específicas de vulnerabilidad;
   c. Identificación de los posibles mecanismos de fallo relacionados con las formas de vulnerabilidad típica y su adaptación al caso de estudio;
   d. Cálculo de potencialidades de colapso relativo a cada uno de los mecanismos identificados.

3. Identificación de las intervenciones dirigidas a modificar los mecanismos de colapso previstos para obtener mayores indicadores. Cada solución técnica adoptada deberá responder a la carencia identificada en el proyecto de daños, evitando así intervenciones genéricas y a priori.

«El camino a seguir debe estar bien definido previamente: se debe saber primero «qué» se debe mantener, y bajo qué conocimiento para sacar el «cómo» conservar el objeto de forma segura» (Antonino Giuffrè, 1993).

3.1.3.1. El proyecto de intervención para mejorar los *cimientos*

Teniendo en cuenta que:

1. Hay que actuar sólo en presencia de discontinuidades;

2. Se debe intervenir sólo después de un examen sistemático de los cimientos existentes;

3. Se debe aspirar a la máxima uniformidad en las condiciones de apoyo.

Acciones sugeridas

- Las intervenciones idóneas son las que amplían la base del cimiento por recalce bajo el propio muro. Las intervenciones con micropilotes u otras intervenciones de consolidación del terreno pueden realizarse

«sólo si no hay alternativas válidas», y después de una documentación detallada.

- «La ampliación de la cimentación no es eficaz cuando las debilidades son causadas por capas compresibles profundas, como tal, la ampliación no modifica significativamente la intensidad de las presiones a partir de una cierta profundidad.»
- En presencia de asientos localizados la intervención con inyecciones o micropilotes podrían quedar limitados a las zonas afectadas por el fenómeno de asiento, pero «esta solución puede ser arriesgada, ya que altera la distribución de la rigidez del conjunto terreno-estructura [...] existe el riesgo de que con el tiempo se desarrollen nuevos asentamientos, aunque distribuidos de manera diferente».
- Importante respetar, también en la realización de las inyecciones o micropilotes, el principio de búsqueda de la máxima uniformidad de la distribución de las tensiones en el terreno, pues en presencia de estos fallos el comportamiento debería ser uniforme.

3.1.3.2. El proyecto de intervención para mejorar los *muros portantes*

«La intervención debe apuntar a recuperar en la pared una resistencia sustancialmente uniforme y una continuidad en la rigidez, incluso realizando los oportunos arriostramientos si actualmente son inexistentes.»

Acciones sugeridas

- Reparación del daño por consolidación (por ejemplo, utilizando la técnica del rejuntado puntual «cucci-scucci»);
- Eliminación, en su caso, de las cavidades (chimeneas, instalaciones...);
- Mejora de las características de las paredes cuyo mortero es pobre o insuficiente (rejuntado en profundidad de las juntas de mortero).

Intervenciones desaconsejadas:

- Las inyecciones de mezclas ligantes (realizado sólo después de una compatibilidad verificada e «inyectabilidad» del muro de mampostería);
- Refuerzos armados;
- Insertar elementos de hormigón armado.

El comportamiento de la obra de fábrica sometida a acciones sísmicas no se rige por la resistencia de la propia mampostería. Solamente si el muro está sujeto a acciones ortogonales a su plano medio, este puede ser tratado como un cuerpo rígido; hipótesis válida para mampostería bien aparejada (ver esquemas figura 3.3).

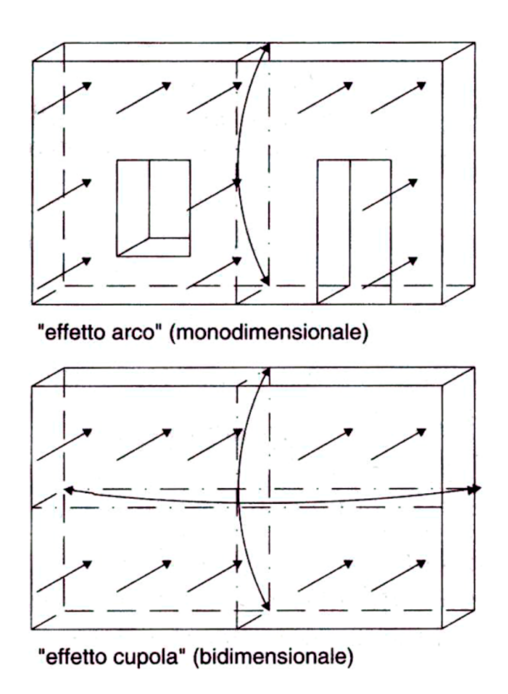


Figura 3.3. Comportamiento de la obra de fábrica, efecto cúpula.
Según, Doglioni, Francesco y Paola Mazzotti. 2007.

Problemas potenciales

Los muros a doble cara (posiblemente con un «relleno» interior) sin conectores, o muros con mortero de juntas erosionadas en profundidad o muros con juntas muy degradadas y paredes de mampuestos irregulares y guijarros se comportan mucho peor: en el primer caso, el muro actúa como dos paredes enfrentadas (la potencialidad de riesgo se duplica), en segundo caso se reduce la acción del momento estabilizador, y en el tercero se pueden desarrollar ambos fenómenos negativos.

Técnicas específicas de rigidización del sistema estructural

- Agregación de estructuras
  - Perfiles de acero
  - Barras de hormigón
  - Solidarización muro-estructura
- Tirantes
- Empresillado
- Zunchos
- Contrafuertes
- Cosidos y grapados

Técnicas específicas de consolidación de muros

- Recomposición y reintegración de faltas en los muros
- Relleno de huecos
- Pasadores transversales
- Revestimiento armado
- Retícula cimentada
- Desmontar i volver a montar

3.1.3.2.1. Rigidización metálica

A – Tirante doble a cada lado de la pared transversal: llave en cabeza externa en hormigón armado prefabricado, llave en cabeza interior con perfil C.

B – Tirante desdoblado o bifurcado para anclarse a las esquinas opuestas del vano.

C – Tirante en perforación sin llave en cabeza posterior e inyectado con mortero de cemento (en caso de que exista compatibilidad constructiva).

D - Anclaje en el interior del vano: el conjunto se obtiene con una tabla de madera en cuyos extremos se coloca una chapa metálica anclada a la mampostería.

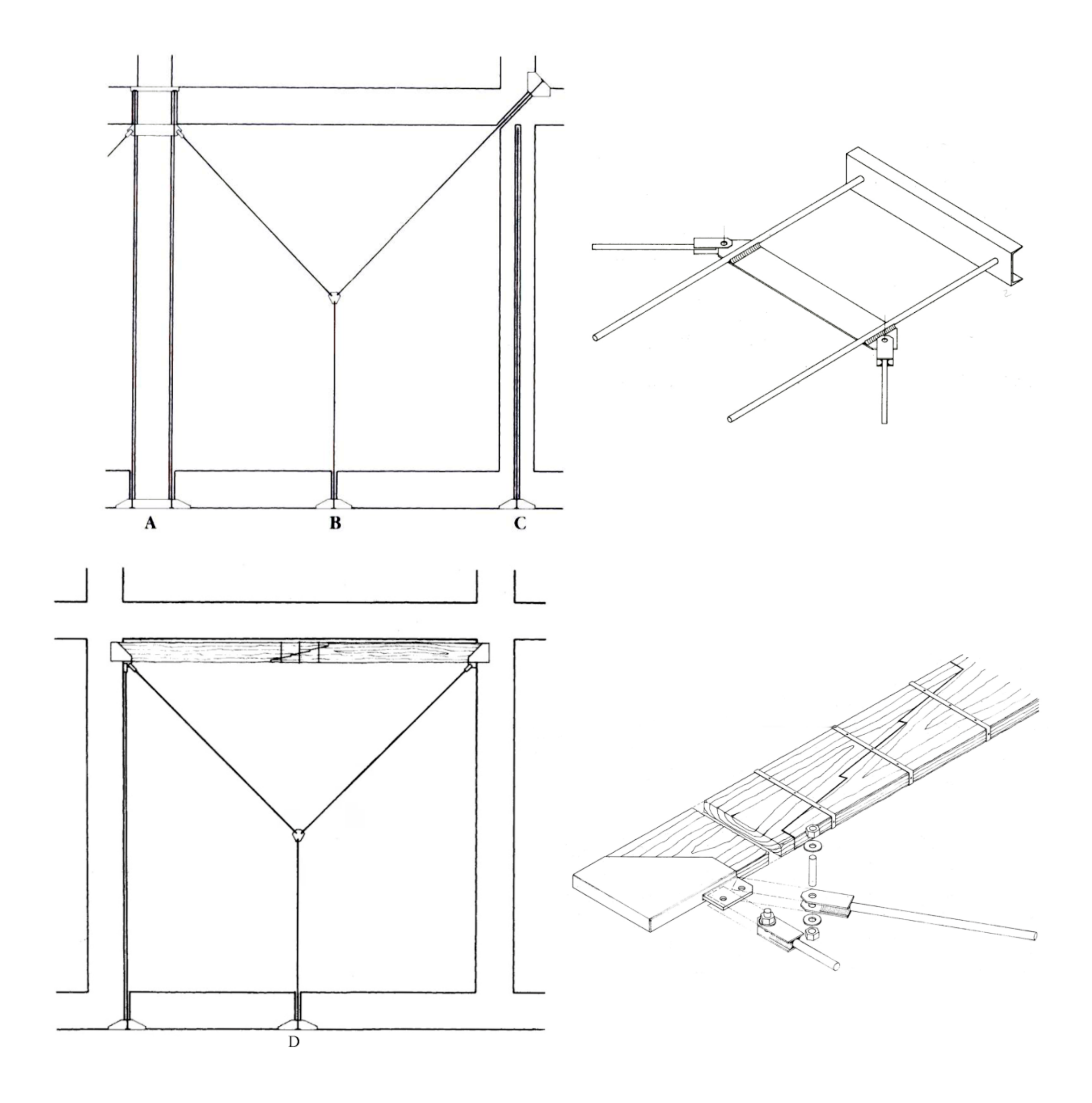


Figura 3.4. Soluciones de atirantamiento en pórticos.
Según, Tampone, Gennaro. 1996.

3.1.3.3. El proyecto de intervención para mejorar *pilares y columnas*

Acciones sugeridas

- Empresillados y otros refuerzos perimetrales (con el fin de aumentar la resistencia a la compresión);
- Disipar o repartir la presión (para lograr una compresión uniforme).

Intervenciones desaconsejadas

- Incluye los núcleos de metal;
- Pretensado;
- Perforación armada;

3.1.3.4. El proyecto de intervención para mejorar los *arcos y bóvedas*

Acciones sugeridas

- La reparación del daño;
- Colocar tirantes en los riñones. Si no fuese posible perforar los riñones, será necesario hacer controles específicos de la eficacia de la inclusión en posiciones diferentes para la contención de los empujes impidiendo la deformación de las paredes de la caja y eventuales tensiones posteriores en las bóvedas (Fig. 3.5).
- Medidas para reducir la masa y para restringir las deformaciones del extradós con adición de peso o aligeramiento de los estribos de forma coherente a la patología (tabiquillos en retícula en el extradós).

Intervenciones desaconsejadas

- Trasdosado capas de revestimiento armado.
- Los tabiques de ladrillo sin una conexión estructural efectiva.

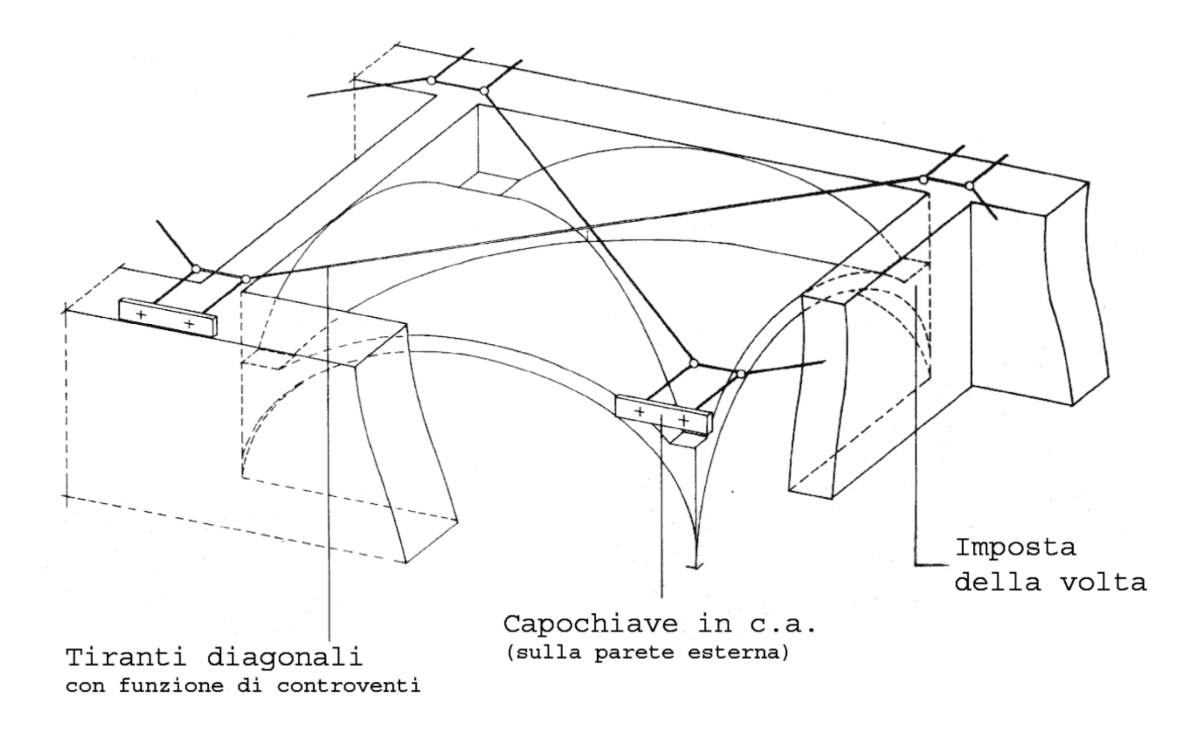


Figura 3.5. Soluciones de atirantamiento en estructuras abovedadas.
Según, Tampone, Gennaro. 1996.

3.1.3.5. El proyecto de intervención para mejorar los *forjados*

Acciones sugeridas

- Rigidez en el plano (los forjados de entablado de madera con un segundo entablado superpuesto ortogonalmente, los forjados con vigas de madera y suelos de terracota y vigas y revoltones, mediante capas de compresión ligeras armadas);
- Conexión de los forjados, vigas y losas a los muros perimetrales;
- Zunchados y anclajes puntuales perimetrales;
- Posible aumento de la sección resistente de las vigas madera en la zona de compresión.

Intervenciones desaconsejadas

Forjado de hormigón y bovedillas con zuncho perimetral (Fig. 3.6).

a) La realización de una roza para la inserción del zuncho perimetral modifica el régimen estático de la mampostería causando la migración de los esfuerzos a la cara externa;

b) El nuevo piso descansa exclusivamente sobre la cara interior del muro;

c) En presencia de acciones sísmicas el piso nuevo empuja hacia el exterior al muro causando su expulsión.

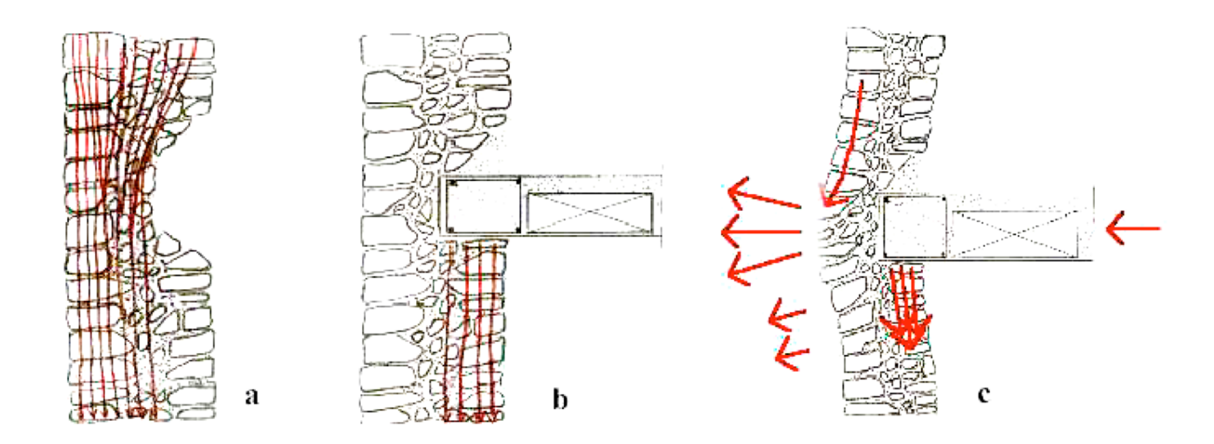


Figura 3.6. Mecanismo de rotura de un muro por empuje del forjado.
Según, Tampone, Gennaro. 1996.

Las acciones causadas por un terremoto generan en las paredes divisorias esfuerzos cortantes y de flexión, los elementos que pueden proporcionar más re-

sistencia a estos esfuerzos son los muros directamente paralelos a la acción del terremoto.

Puesto que las acciones sísmicas afectan a todos los elementos en proporción a su masa, es necesario transferir las fuerzas horizontales que actúan en la construcción a los elementos orientados en paralelo a la dirección del terremoto; a la estructura de la falla.

En presencia de acciones horizontales, el papel del forjado es importante, no sólo por transmitir a las paredes los esfuerzos verticales, sino también para distribuir las acciones horizontales.

Para obtener este resultado es necesario que los forjados tengan una rigidez significativa en su plano.

* Para distribuir mejor las acciones horizontales debido al terremoto es necesario que los forjados tengan una rigidez significativa en su plano.

3.1.3.5.1. Refuerzo con tirantes metálicos

Las viguetas proporcionan la conexión en una dirección, en la otra es necesario disponer de un tirante metálico atornillado al entablado o estructura. Para evitar que la tablazón o estructura tenga deformaciones angulares, en el plano se deben disponer, mediante clavos y cuñas entre las juntas de los tablones o cajeados en los revoltones y clavados a cada vigueta (Figura 3.7).

La tablazón existente se fija a las vigas inferiores y se superpone a un segundo tablón clavado correctamente a la primera.

Cada tabla tiene una rigidez diferente en las dos direcciones (paralela y perpendicular a las articulaciones) esto hace que la madera pueda reaccionar favorablemente ante acciones bidireccionales.

*Clavos en número excesivo y alineados → solución incorrecta
*Las tablas asociadas con 2 o 3 clavos a cada vigueta y clavos no alineados → solución correcta.

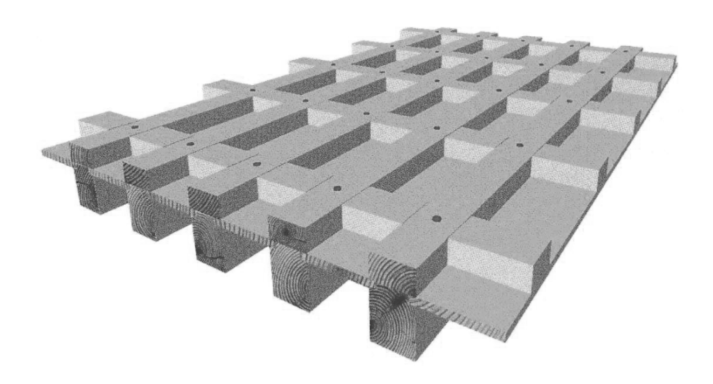


Figura 3.7. Sistema de listones, clavos, cuñas y tablones para rigidizar un plano.
Según, Tampone, Gennaro. 1996.

Se superpone al entablado o forjado de revoltón, un entramado de madera formado por viguetas de madera conectadas a media madera y conectadas a las vigas de la estructura original clavijas, también de madera.

3.1.3.5.2. Refuerzo con capa de hormigón

Se superpone al entablado existente una losa de hormigón con el fin de colaborar con el uso de conectores. La losa debe también debe estar conectada a las paredes del perímetro (Figura 3.8).

«Para no debilitar la pared el zuncho perimetral de hormigón se formó como parte del propio forjado y no dentro del muro; por la misma razón se prefieren los estabilizadores perforados en forma de cajeados».

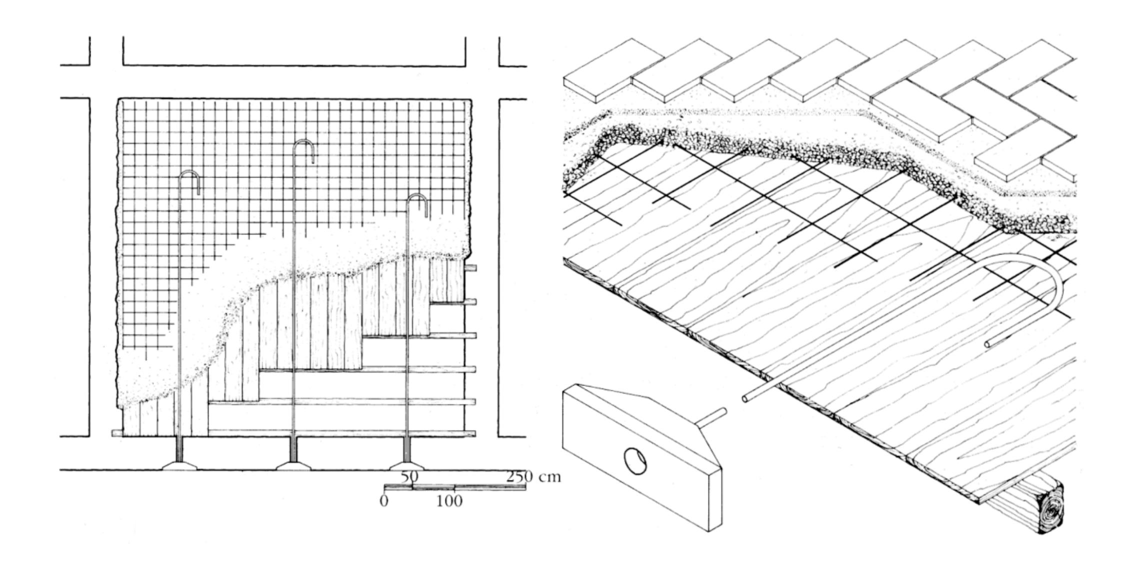


Figura 3.8. Colocación de una capa de hormigón armado como refuerzo.
Según, Tampone, Gennaro. 1996.

3.1.3.5.3. Refuerzo con anclajes

Una forma particular de vulnerabilidad de los forjados con estructuras de madera está ligada a la posibilidad de la retirada de las cabezas de las vigas de sus lugares ante eventuales movimientos (Fig. 3.9). Por lo tanto, el refuerzo se enfoca a:

1. Reducir la vulnerabilidad y unir los muros con aquellos que son paralelos

2. Unir los muros de mampostería con todas las vigas principales y algunas de las viguetas.

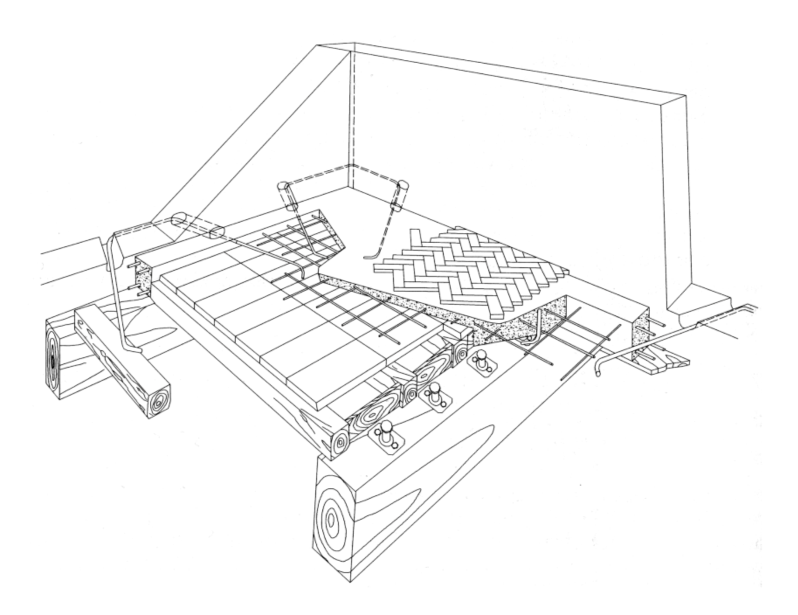


Figura 3.9. Sistema de refuerzo con anclajes metálicos a través del muro. Según, Tampone, Gennaro. 1996.

3.1.3.5.4. Refuerzo con suplementos longitudinales

Los techos abovedados con vigas tienen una alta vulnerabilidad sísmica: en presencia de los movimientos de las paredes paralelas a las vigas, las bóvedas pueden fácilmente derrumbarse, por lo que es necesaria la creación de conexiones cruzadas entre las paredes de la determinada crujía.

3.1.3.6. El proyecto de intervención para mejorar la *cubierta*

Intervenciones sugeridas

- La contención de las fuerzas;
- Refuerzo de la estructura;

- Conexión de los elementos de madera entre sí y a las paredes de carga (con elementos metálicos);
- Refuerzo del punto de contacto entre el muro y la estructura de cubierta con un zuncho o tirante de madera o metálico. Algunos autores también proponen zunchos perimetrales armados con el fin de repartir adecuadamente la carga del forjado sobre las paredes y asegurar la resistencia a la tracción en la parte superior del muro.

Intervenciones desaconsejadas

- Cambios, sustituciones o transformaciones generalizadas;
- Los forjados de hormigón armado, u otras soluciones en masa cuya rigidez pueda ser excesiva;
- Zunchos de hormigón armado.

3.1.3.6.1. Contención de los empujes y rigidización

*Anclajes con cables y tensores (figura 3.10)
*Adaptación de los puntos de encuentro para el anclaje de los tirantes dispuestos en dobles diagonales.

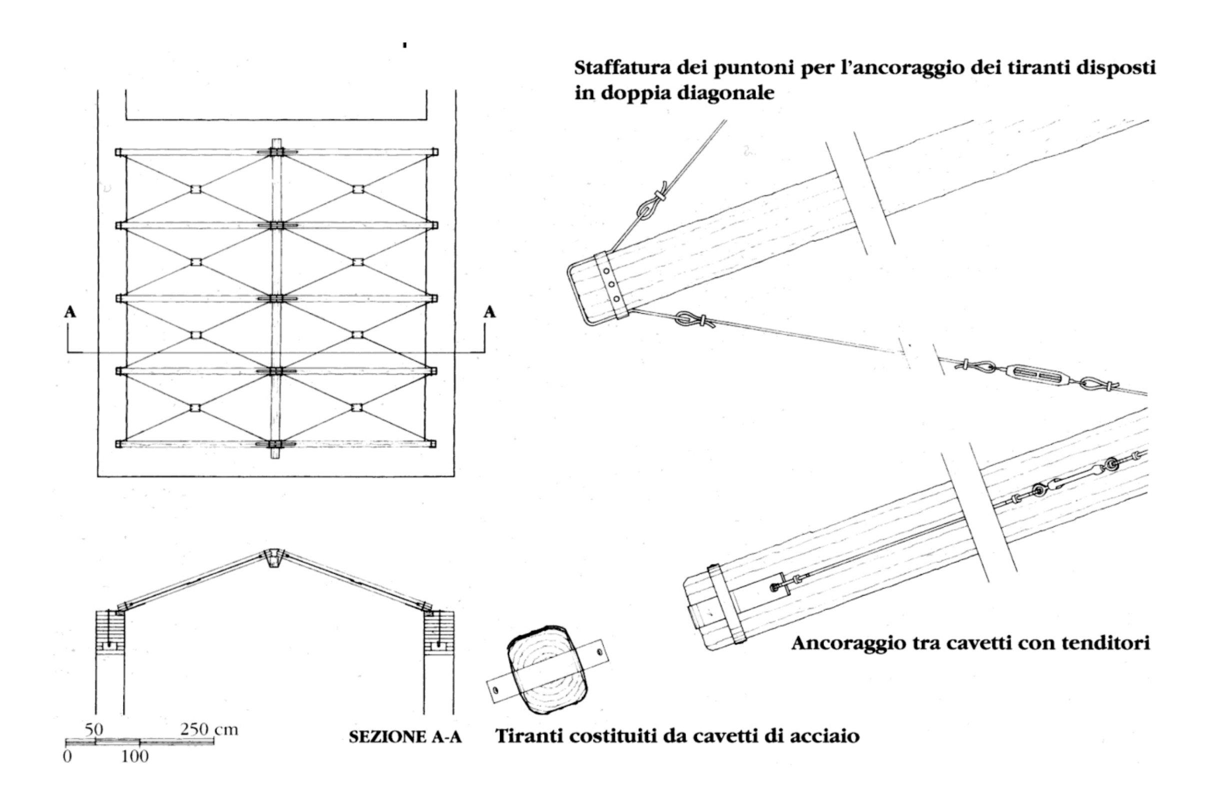


Figura 3.10. Anclajes en forjados y cubiertas con cables y tensores.
Según, Tampone, Gennaro. 1996.

3.1.3.6.2. Intervención en la cabeza de vigas y viguetas

Un perfil en forma de L (o C) puede ser insertado a lo largo del perímetro del espacio a reforzar conectado a la pared con perforaciones inclinadas mediante varillas roscadas y mortero de unión (epoxi). Este perfil puede constituir un apoyo para las cabezas de las vigas y una base para el anclaje de los cables de arriostramiento.

La conexión de viguetas a la viga cumbrera con soportes metálicos y clavos. La realización de estas conexiones evita fenómenos de deslizamiento en las vigas de soporte sobre la viga de caballete.

La realización de la coronación de los muros de carga mediante un armado perimetral permite: (a) ofrecer cierta resistencia a la tracción en el borde superior de la pared; (b) conseguir una mejor conexión de la estructura del último forjado o cubierta con la pared; (c) distribuir mejor la carga del último forjado o cubierta en la pared (Fig. 3.11).

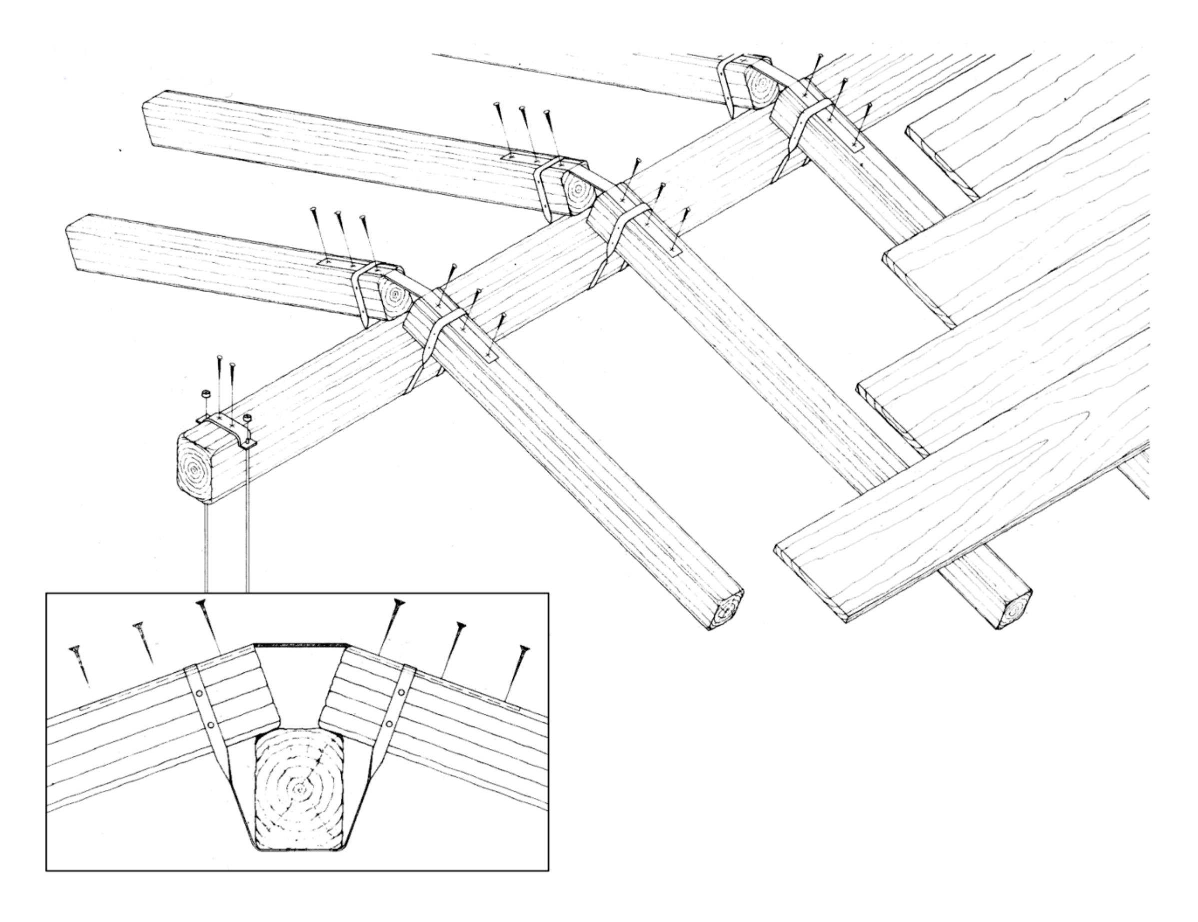


Figura 3.11. Anclajes en cabezas de vigas y viguetas en cubiertas.
Según, Tampone, Gennaro. 1996.

ISBN: 978-84-17429-28-7

DOI:http://dx.doi.org/10.6035/Sapientia144

3.1.3.6.3. Rigidización metálica

«La práctica tradicional para incluir encadenados o triangulaciones metálicas debe ser considerado, en general, como la respuesta de mayor eficacia en función del impacto sísmico causado en el edificio, así que es necesario que se aplique sistemáticamente».

Le recomendamos que utilice tirantes formados por barras redondas de acero de baja resistencia con registro externo en cabeza para tensar siempre que sea necesario. Los tirantes se colocan en cada planta en correspondencia a los muros portantes transversales, atravesando ambos lados.

Si es necesario colocar un tirante en el interior de la pared (taladrándolo en la dirección longitudinal) será insertado en una funda resistente, sin rellenarse, para permitir que vuelva a tensar y evitar la aparición de solicitaciones no deseadas.

3.2. *Evaluación analítica de soluciones de refuerzo en edificios tradicionales de muros de mampostería y estructura de madera.*

3.2.1. Introducción

El interés y la necesidad de evaluar las diferentes soluciones de refuerzo, sobre todo para edificios de mampostería tradicional sometidos a la acción sísmica es fundamental en la definición de estrategias de refuerzo y medidas para minimizar los daños en la salvaguardia del patrimonio cultural y su historia. A continuación se presentan los principales resultados del modelo analítico de una estructura global que consta de cuatro edificios alineados. Tres técnicas de refuerzo y rehabilitación se han modelado y analizado para mejorar el comportamiento global de este conjunto de edificios. La eficacia de los diferentes enfoques se discute en términos de control de la deformación y de análisis costo-beneficio. El objetivo es contribuir a la promoción de la rehabilitación de edificios antiguos construidos en centros históricos. Después de una descripción y caracterización constructiva del conjunto, destaca el análisis en términos de tensiones y deformaciones realizado con el fin de entender mejor el comportamiento de estos edificios. También es importante identificar las acciones a realizar en la intervención y su compatibilidad con las técnicas y materiales existentes, pues influyen positivamente en la posterior recuperación de la construcción y de su autenticidad en términos de arquitectónicos, históricos y culturales.

3.2.2. Descripción del conjunto estructural

La gran mayoría de los edificios en las ciudades históricas han sido construidos, hasta la primera mitad del siglo XX, sin criterios resistentes a los terremotos. En este sentido, un aspecto muy importante es el orden cronológico de la construcción, puesto que los edificios adyacentes, dispuestos en su mayoría alinea-

dos, pueden no haber sido construidos en el mismo período, y repercute en el uso común de paredes de otros edificios que se convierten en paredes históricas que soportan pavimentos y cubiertas de edificios construidos más recientemente (Fig. 3.12).



Figura 3.12. Análisis de un conjunto de edificios a reforzar.
Según, Vicente, R., Rodrigues, H., Varum, H., Mendes da Silva, J.A.R. 2008.

Esto se ve agravado por los problemas de conexión entre los muros de fachada y los muros laterales/medianeras existentes, así como con otros nuevos muros de carga. Por lo tanto, los edificios no se comportan de forma independiente. Se comparten recios muros, interactuando entre sí, en particular para las acciones horizontales, es relevante no sólo por la cuestión de la fuerza, sino por la fragilidad de las uniones en las esquinas. Las grietas en las esquinas y el colapso de los muros de fachada fuera de su plano durante un terremoto, son mecanismos de daño frecuentes causados por enlaces deficientes entre muros ortogonales (pared de fachada - pared medianera/arriostramiento ortogonal).

Los edificios residenciales tradicionales representan la mayoría de los edificios de los centros históricos expuestos a seísmos cuya configuración estructural está dotada de simples muros de mampostería y estructuras de forjados y cubiertas de madera.

Los muros relativamente resistentes están constituidos por mampostería irregular, pequeña y mediana, en los que el espesor del muro puede variar en función de la altura: entre 20-30cm en las partes más altas y entre 50 y 90 cm en las bajas. El uso de arena de río y arcilla de tamaño de árido grueso es muy común para su empleo en la argamasa de unión.

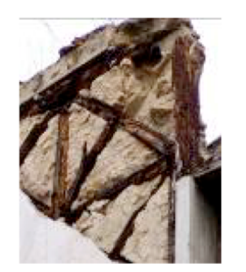
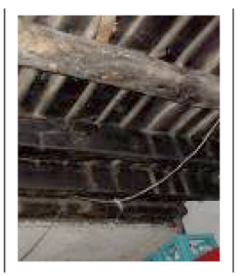
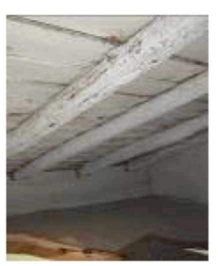
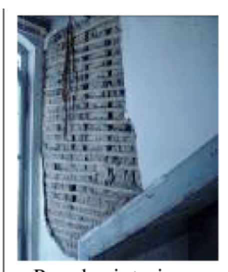
    

Figura 3.13. Análisis del estado de conservación de los elementos.
Según, Vicente, R., Rodrigues, H., Varum, H., Mendes da Silva, J.A.R. 2008.

Como se ha observado en apartados anteriores, las paredes de mampostería tienen un buen comportamiento a las acciones verticales, inducidos por las fuerzas gravitacionales. Pero es su comportamiento a las solicitudes perpendiculares a su plano las que constituyen su mayor debilidad. La mejor o peor comportamiento de muros de mampostería depende muchos aspectos y características tales como el tamaño de las piedras, el tipo de colocación, tipo de piedra, tipo de mortero, conexión entre caras, la conexión a otras paredes, etc. Como los muros de mampostería constituyen alrededor del 60-75 % del peso de los edificios antiguos, estos gobiernan prácticamente la respuesta general del conjunto.

En la mayoría de los edificios de los centros históricos se observa el uso sistemático de forjados constituidos por viguetas y vigas de madera con secciones que oscilan entre 10x16cm^2 y 10x24cm^2 dispuestos perpendicularmente a los muros medianeros (en paralelo a las paredes de la fachada). En cuanto a la calidad, factor prácticamente irrelevante siempre y cuando se conserve su perfecta integridad, se pueden encontrar varios tipos de madera, desde las nacionales hasta algunas de exportación.

Las cubiertas normalmente son inclinadas, a una o dos aguas. Las viguetas tienen un tamaño medio de 10x16cm^2 y las perimetrales si existen y cumbreras de 15x20cm^2 y 20x25cm^2. El revestimiento de la cubierta suele estar ejecutado con tejas cerámicas. En cuanto a la carpintería, las ventanas son de madera con acristalamiento simple. Y en cuanto a las particiones interiores son tabiquería que generalmente puede presentar deformaciones progresivas por el paso del tiempo.

3.2.3. Definición de acciones a considerar en el análisis

Para el análisis se consideraron las siguientes acciones con el fin de interpretar el comportamiento de la estructura existente, identificar las causas de las deficiencias observadas, evaluar las necesidades de la deformación y la mejora de la eficiencia de las soluciones:

- Acciones permanentes (peso propio de las paredes, de los forjados y de las cubiertas);

- Sobrecargas de uso;
- Acción sísmica.

El modelo utilizado para describir el comportamiento del conjunto sometido a frecuencias sísmicas es el modelo elástico lineal.

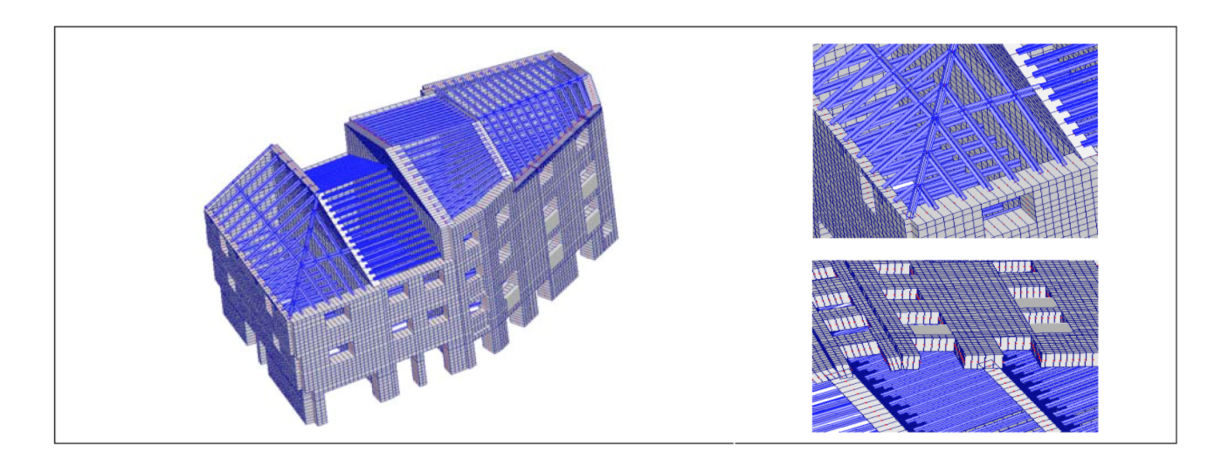


Figura 3.14. Simulación 3D del conjunto de edificios a reforzar.
Según, Vicente, R., Rodrigues, H., Varum, H., Mendes da Silva, J.A.R. 2008.

3.2.4. Estrategias de refuerzo evaluadas tras los análisis

El refuerzo estructural para mejorar el rendimiento de los edificios tradicionales de mampostería contra las acciones sísmicas se debe centrar en acciones acordes con el diseño original, materiales y soluciones constructivas del edificio.

El modelo analítico lineal implementado se utilizó para evaluar la eficacia de tres estrategias de refuerzo diferentes: a) el uso de tirantes; b) la triangulación de forjados y c) la consolidación de los muros de mampostería.

Cabe decir que las paredes de mampostería de la envolvente de los edificios son generalmente vulnerables a los mecanismos de colapso que se generan cuando los esfuerzos provocan el movimiento del sistema constructivo fuera de su plano. La introducción de tirantes en todos los niveles y, especialmente, a nivel de la cobertura trata de limitar estos movimientos, se pueden considerar con dos configuraciones alternativas (Fig. 3.15).

Posteriormente, sobre la base de los primeros resultados se reconsideró la reconfiguración de los tirantes por una disposición más eficiente, en términos de control de la deformación de los muros hacia fuera de su plano, por lo que los tirantes debían anclarse en las zonas más rígidas de la estructura, es decir, las zonas intersección y mayor traba de las paredes (ver Fig. 3.14 solución de refuerzo A).

En cuanto a la segunda técnica, para La solución de refuerzo mediante la triangulación del forjado se considera necesaria para transmitir y recibir homogéneamente los esfuerzos horizontales por medio de una mayor rigidización del forjado en su propio plano.

La tercera técnica de refuerzo considerada fue mejorar la resistencia e isotropía de las paredes de mampostería basada en una acción de consolidación mediante: el picado del revoco y la colocación de pasadores transversales, la consolidación de juntas y el relleno de vacíos, y la colocación de un mallazo de acero inoxidable en ambas caras que posteriormente serían vueltas a revestir como se ilustra en la Fig. 3.14. Esta acción tan simple puede aumentar el módulo de elasticidad de la mampostería en un 75 %.

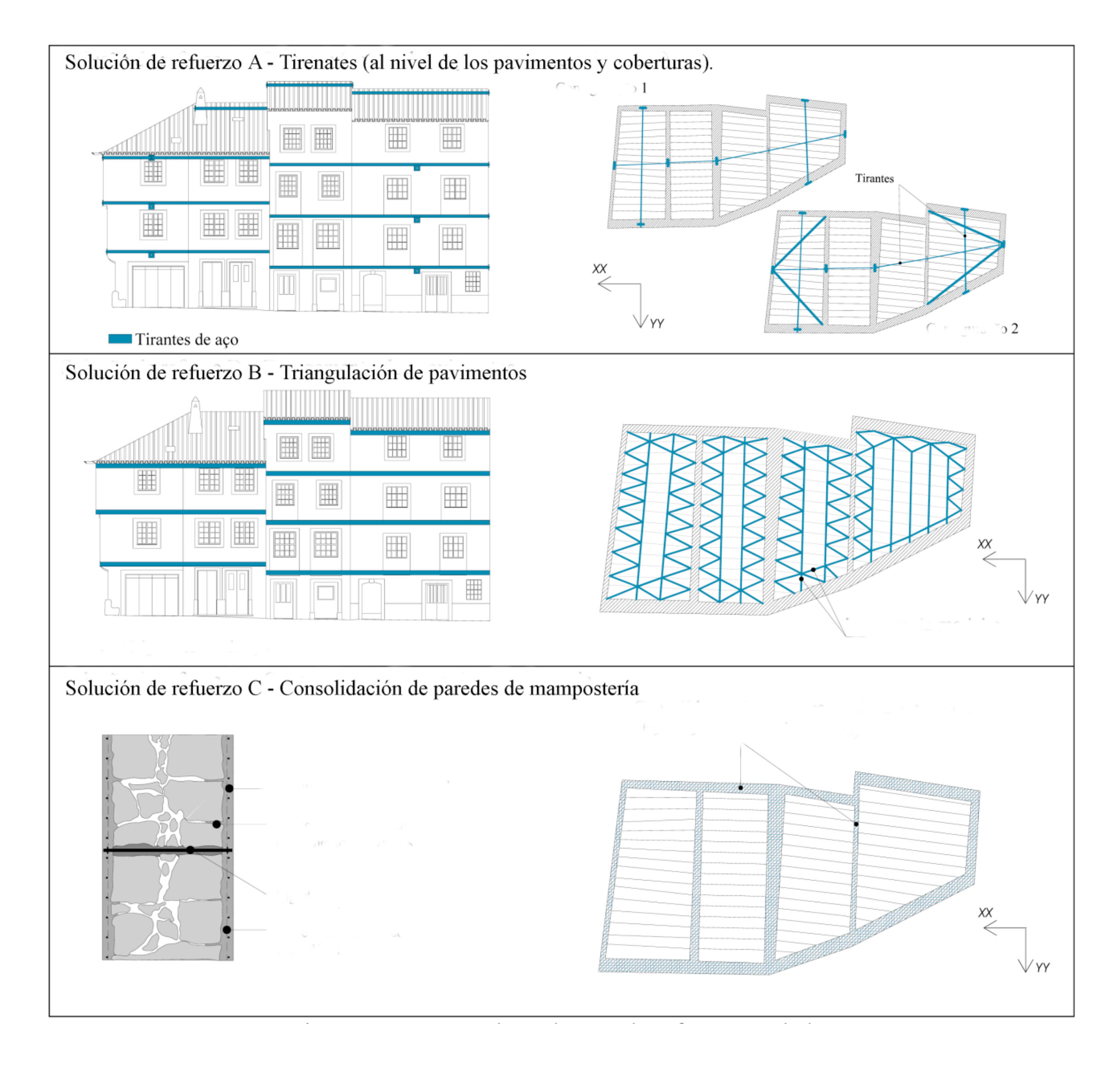


Figura 3.15. Estrategias de refuerzo de los edificios a reforzar.
Según, Vicente, R., Rodrigues, H., Varum, H., Mendes da Silva, J.A.R. 2008.

3.2.5. Frecuencias naturales y formas de vibración

Al comienzo del estudio se encontró que aproximadamente entre el 65 y 70 % de la masa total de la estructura pertenecía a las paredes de mampostería. Por lo tanto, los modelos relacionados con las soluciones de refuerzo y en particular para las soluciones a y b no afectaban a prácticamente al peso total de la estructura.

El análisis comparativo en términos de frecuencias y modos de vibración se observa de la siguiente manera:

- En primera instancia, todos los sistemas de análisis estructural, es decir, la estructura original y las tres soluciones de mejora, muestran un comportamiento que revela que en el nivel de la planta baja se espera una mayor concentración de la deformación debido al elevado porcentaje de aberturas en la dirección XX. En el primer modelo de análisis, también es evidente una mayor vulnerabilidad de algunos muros de mampostería fuera de su plano.
- Con la solución del refuerzo A, que implica la colocación de tirantes de unión, que unen las fachadas paralelas, los modos de vibración tienden a mostrar un movimiento menos exigente de los muros fuera de su plano en relación con la estructura original. Debido a la instalación de los tirantes, las primera frecuencia aumenta en alrededor de 4,3 % en comparación con la estructura original;
- La solución de refuerzo B recurre al uso de elementos de madera para introducir rigidez al forjado por medio de triangulaciones entre las viguetas, la primera frecuencia aumentó en aproximadamente un 21,5 %, reflejando una integración mayor de la estructura como conjunto (pues queda más limitada la deformación de las paredes fuera de su plano);
- Con la solución de refuerzo B, el aumento de la rigidez de los forjados en su plano induce una clara tendencia a la disminución de las exigencias de la deformación de las paredes envolventes y a las paredes medianeras. Sin embargo, se observa que el modelo utilizado asume que las conexiones entre el forjado y las paredes son eficaces (se asume una conexión perfecta entre las viguetas y vigas que conforman los forjados y cubiertas, y los elementos de envolvente que describen las paredes);
- Con la solución de refuerzo C, el modo de vibración es similar a la estructura original como sería de esperar, ya que sólo es una estructura más rígida. La acción de consolidación de los muros de mampostería aumentó la primera frecuencia natural en un 28 %;
- En el edificio que tiene doble crujía, las paredes de la fachada y medianera lateral sufren un fuerte movimiento de torsión debido a la orientación relativa de estas paredes (no perpendicular);
- Para modos de vibración más intensa surgen movimientos de torsión y, por consiguiente movimientos fuera del plano de las paredes asociadas. La solución de rigidización de los forjados en su plano (solución de refuerzo B), reduce el efecto de torsión de forma global.
- El uso de elementos rigidizadores en forjados y cubiertas de madera en edificios antiguos condiciona de forma importante la respuesta estructural

de estos edificios. Al evaluar el efecto de la rigidez de los forjados en la respuesta de la casa, en comparación con la primera frecuencia y modo de vibración correspondiente, la rigidez de los forjados y cubiertas puede variar (en aumento o disminución) hasta 100 veces la rigidez original de los elementos existentes.

3.2.6. Interpretación de las fisuras de las paredes en base a las cargas estáticas

Con el modelo numérico calibrado y sujeto a una combinación de la carga vertical estimada es posible obtener la distribución de la tensión, lo que permite la interpretación de las causas que provocan los eventuales agrietamientos.

Teniendo en cuenta las cargas que actúan sobre el edificio (peso propio y carga repartida) y suponiendo una tensión de tracción máxima en la mampostería de 50 kPa (definido por valores de revisión bibliográfica), utilizando el modelo analítico, se pueden identificar zonas donde existe tendencia a la localización de mayores tensiones y, por lo tanto, donde comenzará el proceso de fisuración.

A partir de este análisis es evidente que la influencia de la falta de alineación vertical de las aberturas, que pudiera facilitar la distribución de las tensiones en las paredes, es el origen del agrietamiento inclinado observado. Nótese también que los paneles de piedra sobre las ventanas, más rígidos y menos gruesos, causan la concentración de tensión en estas áreas. El agrietamiento vertical observado en la unión entre estos elementos y la mampostería ordinaria de las fachadas también se justifica por el diferente comportamiento de los dos materiales frente a las acciones térmicas y la variación del contenido de humedad.

3.2.7. Respuesta a la reglamentación sísmica

Se estudió la respuesta estructural de la reglamentación sísmica definida por el análisis espectral de la estructura original, bien para la estructura reforzada como para cada una de las soluciones de refuerzo expuestas. Para la frecuencia de cada estructura se definió una acción sísmica en base a fuerzas estáticas equivalentes.

A partir del análisis de respuesta de la estructura a la acción sísmica considerada, se observó para todos los modelos una concentración de tensiones más altas en la parte inferior de la fachada al nivel del suelo, así como una mayor demanda de deformación (reducción significativa de la rigidez), potenciando un mecanismo de comportamiento de tipo forjado/planta débil.

Las zonas de concentración de tensiones que se visualizan en la estructura original son atenuadas en los modelos reforzados, en particular en el caso de la técnica de refuerzo que consiste en el forjado rigidizado, en el que los valores de pico de tensión de tracción se reducen en un 30 %. En general, el análisis de todas las distribuciones de tensión de tracción, junto a los paneles de mampostería que quedan

sobre las aberturas, zonas donde la mampostería se muestra más rígida (menos flexible) y de menos grosor, verifican que hay una concentración de tensiones de tracción que induce daños locales en estos elementos y en sus proximidades. Téngase en cuenta también que la falta de alineación vertical de las aberturas en la pared provoca una concentración de esfuerzos y consecuente empeoramiento de la traza de las tensiones, lo que lleva a la fisuración.

Suponiendo que la acción de refuerzo que consiste en la consolidación de muros de mampostería, simulado por el aumento del módulo de elasticidad aumenta en proporción (aproximadamente 75 %) en el valor de la resistencia a la tracción y la distribución de la tensión se reduce de manera significativa.

3.2.8. Perfil de desplazamiento y mecanismos potenciales de daño

De la observación de daños en edificios de mampostería después de los terremotos recientes, es evidente la tendencia a una concentración de deformaciones en zonas con mayor fragilidad, ya sea por la geometría o por la calidad de la ejecución de la mampostería.

Se presentan perfiles de dislocación lateral en zonas especialmente sensibles y representativas de respuesta del conjunto estructural: esquinas, juntas continuas en altura de las paredes de fachada, y uniones entre medianeras y fachadas. Para el conjunto en estudio se identificaron inicialmente 16 perfiles de control. De entre estos, se seleccionaron 5 perfiles representativos del comportamiento y exigencias de deformación del conjunto. Por lo tanto, se determinó el perfil de desplazamiento lateral para la estructura original y para cada estructura reforzada para la acción sísmica.

El análisis de los perfiles de desplazamiento lateral desde los puntos de control trata de comprobar las diferentes soluciones de refuerzo para reducir el movimiento de las paredes fuera de su plano (Fig. 3.15). En el análisis de los perfiles de desplazamiento obtenidos, parece que la solución de refuerzo C (consolidación de la mampostería) reduce los desplazamientos laterales cerca de un 25 %. Sin embargo, el desplazamiento de la parte superior es mayor que la estimada para la solución de rigidización de los forjados (acodalamiento de las viguetas), con esta solución como la más eficiente (reduciendo alrededor del 36 %) el desplazamiento de la parte superior.

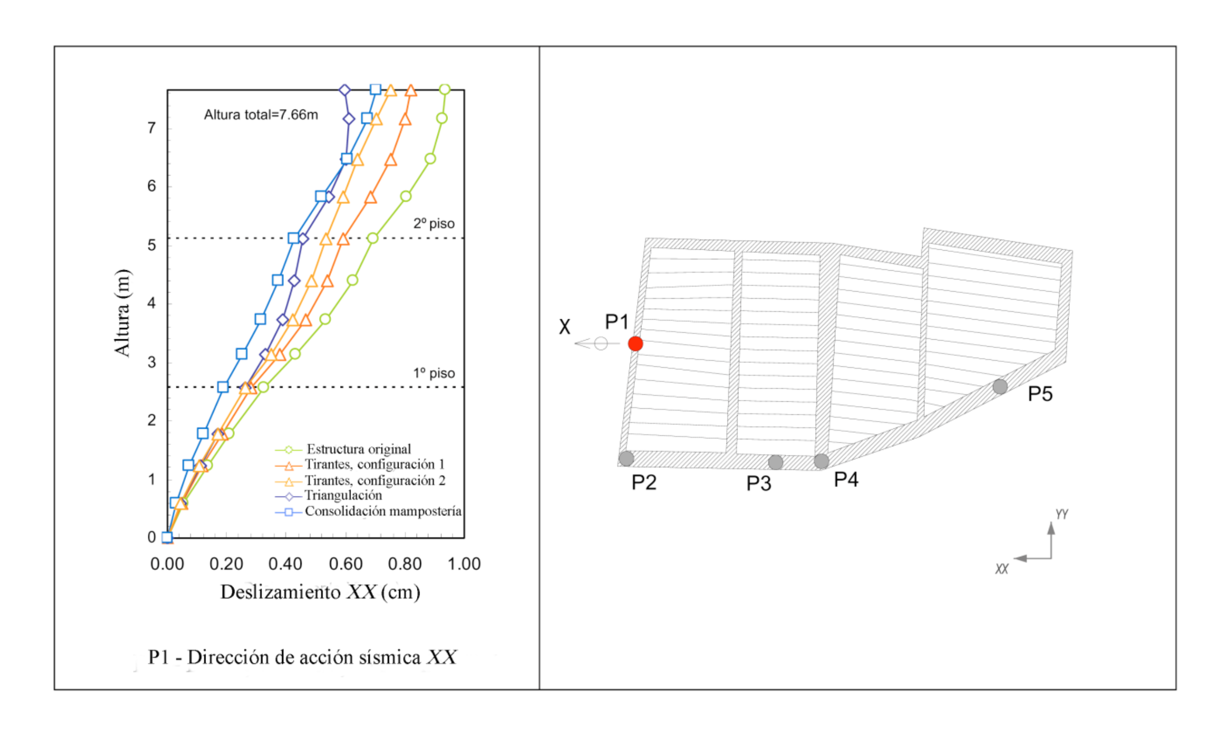


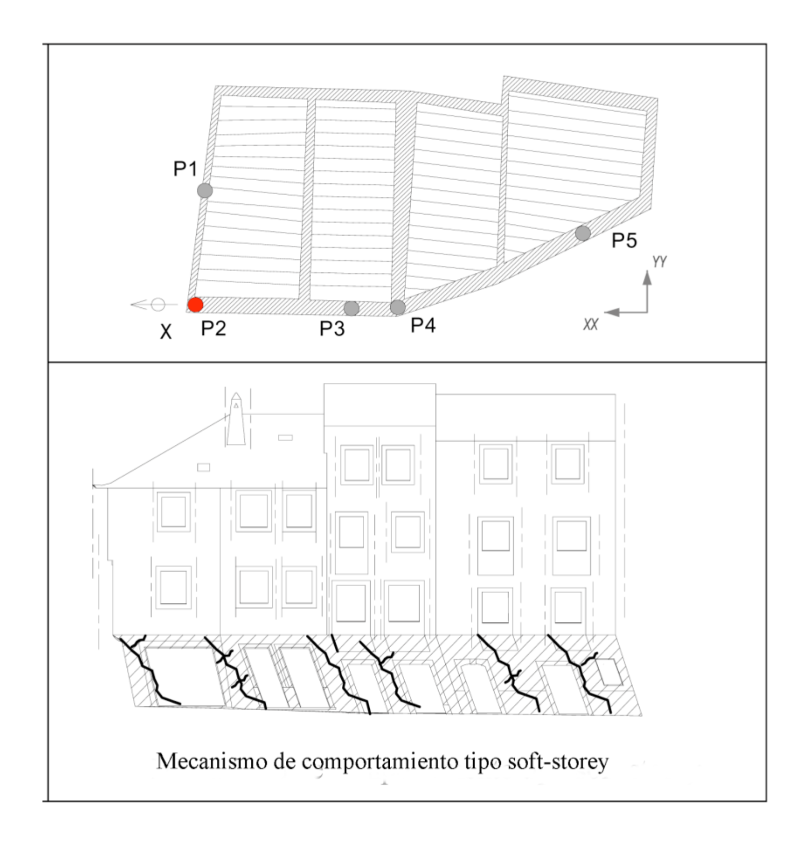
Figura 3.16. Análisis de los perfiles de desplazamiento lateral.
Según, Vicente, R., Rodrigues, H., Varum, H., Mendes da Silva, J.A.R. 2008.

La instalación de los tirantes (solución de refuerzo A), a pesar de ser una solución globalmente menos eficaz en relación con las otras dos soluciones en términos de reducción del desplazamiento lateral, presenta la ventaja de ser la acción estructural menos intrusiva y de costo más reducido. Téngase en cuenta que la segunda configuración de refuerzo que recurre a tirantes es mucho más eficiente, cerca del 50 %, si se compara con las dos configuraciones estudiadas en el control de la deformación del punto P1.

El análisis de los perfiles de desplazamiento lateral que se presentan en la Figura 3.17 (punto P2) en el plano de la pared de fachada N-W, parece que sólo la solución de consolidación de mampostería (solución de refuerzo C) reduce claramente el requisito de desplazamiento de la pared superior (aproximadamente 37 %).

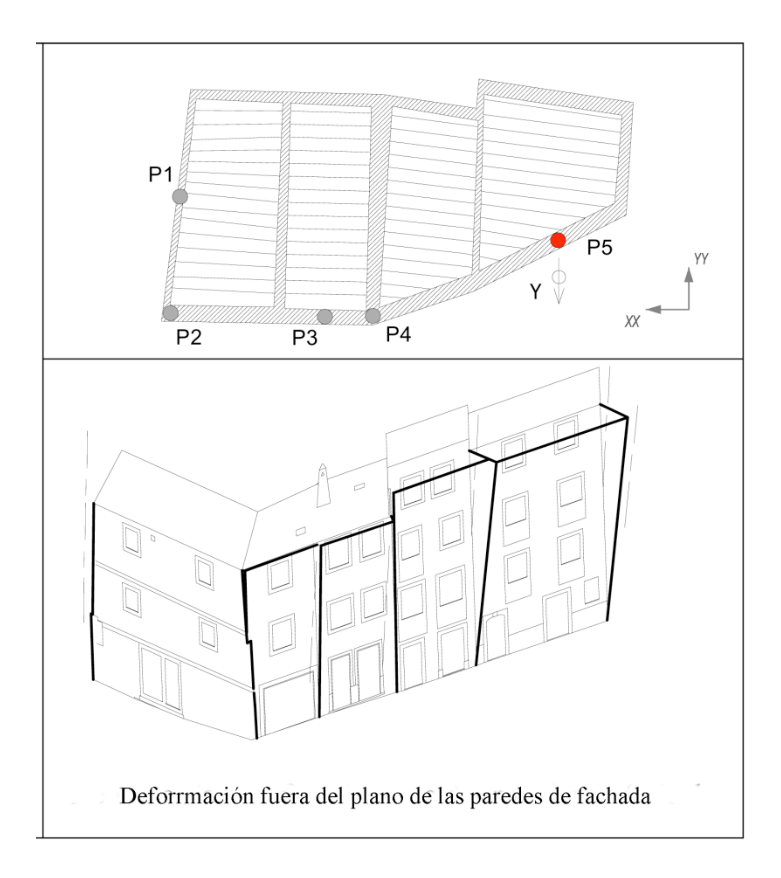
En cuanto a la solución de triangulación del forjado (solución de refuerzo B) y reconociendo que el objetivo es rigidizar globalmente los diafragmas con el fin de controlar la deformación de los muros fuera del plano, se encontró que su contribución no es tan relevante en el control de la deformación en el plano de los muros, evidenciando un efecto ligeramente negativo sobre un desplazamiento de pequeña amplitud en esta dirección, como se ilustra en la figura 3.17. Se verificó que la colocación de tirantes (solución de refuerzo A) no contribuye al control de movimientos en el plano de la pared frontal, tal como se muestra en la figura 3.17.

Tanto para la estructura original, como para todas las estructuras reforzadas, los perfiles de desplazamiento lateral en la dirección XX, como se muestra en la Figura 3.17, evidencian un mecanismo de comportamiento del tipo «planta débil» a nivel de la planta baja (el desplazamiento a este nivel representa más de 50 % del desplazamiento de la parte superior) revelando una importante vulnerabilidad del conjunto a la acción sísmica en esta dirección XX.



Mecanismo de comportamiento tipo soft-storey

El análisis de los esfuerzos en el punto de control P5 (Fig. 3.17), se encontró que el uso de tirantes (solución de refuerzo A) apenas reduce el desplazamiento en la parte superior (aproximadamente un 4 %).



Figuras 3.17 y 3.18. Análisis de los perfiles de desplazamiento en los puntos de control P2 y P5 respectivamente.
Según, Vicente, R., Rodrigues, H., Varum, H., Mendes da Silva, J.A.R. 2008.

La triangulación de forjados (solución de refuerzo B) reduce el movimiento de la parte superior del muro en aproximadamente el 29 % (Fig. 3.17). Sin embargo, la eficacia de esta solución sólo se puede verificar si la acción de rigidización de los forjados es ejecutada en todos los niveles, incluida la cubierta. Si la rigidización no fuera ejecutada en todos los niveles, la irregularidad/discontinuidad de comportamiento originaría una amplificación de los desplazamientos al nivel de esos pisos (por lo general el desván no se suele rigidizar pues el nivel de tensión normal sobre las paredes es muy baja, observándose frecuentemente el colapso de los muros de los últimos pisos).

A partir del análisis del perfil de desplazamiento del punto P3 en la, el fenómeno de «planta débil» es evidente en la dirección XX debido al alto porcentaje de aberturas. En la dirección YY (plano de la fachada), para el punto de control P2 (pared de fachada) y P4 (pared medianera), se observó un buen comportamiento a la flexión en esta dirección, debido al extenso desarrollo de las paredes prácticamente sin aberturas.

La acción más eficaz en la reducción de dislocaciones/desplazamientos es la consolidación de mampostería (solución de refuerzo C), consiguiéndose una reducción del desplazamiento de la parte superior de aproximadamente el 50 % en los puntos de control P2, P3 y P4.

La acción de triangulación de los forjados (solución de refuerzo B) es propuesta como una acción de refuerzo que pretende rigidizar los forjados en su propio plano, lo que reduce la deformación de las paredes fuera de su plano asociada a una redistribución de esfuerzos de la estructura. La rigidización de los forjados disminuye considerablemente las exigencias de deformación de los muros fuera de su plano (ver Fig. 3.16 y Fig. 3.18), sin embargo, puntualmente para esta acción de refuerzo se estima un ligero empeoramiento de los requisitos de deformación de algunas paredes en su propio plano, como se muestra en la Figura 3.17 y para el punto P2 (esto podría ser preocupante si las paredes de mampostería fueran localmente débiles, fácilmente inestables y el colapsables fuera de su plano).

A continuación será discutida y comparada la eficacia de las soluciones de refuerzo propuestas a través de un análisis simplificado de costes-beneficio.

3.2.9. Mejora de la integridad estructural: análisis de costo-beneficio

Para comparar la eficiencia de las soluciones de refuerzo estudiadas, se utilizó un indicador que tiene en cuenta, por una parte, la reducción del desplazamiento lateral en la parte superior de las paredes, en los puntos P1, P2, P4 y P5, y por otro, el coste cada acción de refuerzo. Los puntos P1 y P5 se seleccionaron para evaluar la eficacia de las soluciones y controlar la deformación de las paredes fuera de su plano, y los puntos P2 y P4 para evaluar la eficacia de las soluciones de refuerzo en el control de la deformación de las paredes en su propio plano. Los costos estimados de las acciones de refuerzo se obtuvieron a partir de los presupuestos solicitados a las empresas especializadas en la rehabilitación, familiarizados con estas técnicas de refuerzo. De las diversas estimaciones recibidas hubo una dispersión significativa en la valoración de los trabajos de refuerzo, pero para este estudio fueron adoptados los valores de costo medio que se indican en la Tabla 3.1.

En función del cociente entre el costo de las acciones de refuerzo y el valor patrimonial de la estructura estudiada, la solución de refuerzo utilizando los tirantes, representa sólo el 2 % del valor global de la estructura estudiada, pero tiene una eficiencia en el control de la deformación de los muros en su propio plano y fuera del mismo muy modesta. La acción de refuerzo mediante la triangulación de las plantas demuestra ser muy positiva en el control de la deformación de los muros fuera de su plano (puntos P1 y P5). Sin embargo, se produce un efecto negativo en los requisitos de deformación de los muros en su plano (los puntos P2 y P4). La consolidación de mampostería se presenta como una solución global de mayor eficiencia en la reducción de las exigencias de deformación, pero es más cara y costosa (alrededor del 20 % de la estructura).

Tabla 3.1. *Estimación del valor patrimonial de los edificios estudiados y del coste de las acciones de refuerzo estudiadas.*

Valor patrimonial estimado del conjunto 400.000,00 €		
Acción de refuerzo	Coste	Coste de la acción de refuerzo Valor patrimonial del conjunto
Solución de refuerzo A – Tirantes, configuración 2	8.000,00 €	2 %
Solución de refuerzo B – Triangulación de forjados	48.000,00 €	12 %
Solución de refuerzo C – Consolidación de mampostería	80.000,00 €	20 %

Tabla adaptada por el autor

Si se comparan las tres soluciones de refuerzo y de manera particular, la solución de refuerzo B (triangulación de pavimentos) y la solución de refuerzo C (consolidación de mampostería), se verifica que ambas reducen de forma significativa las exigencias de deformación de los muros de mampostería para las deformaciones fuera de su plano. En lo que respecta al control de las deformaciones en el plano de la pared, a pesar de la diferencia entre las soluciones de refuerzo B y C, la magnitud de los valores de efectividad son muy bajos en comparación con los valores de deformación de los muros fuera de su plano. Teniendo en cuenta que las deformaciones fuera del plano de los muros son de mayor magnitud y que se pretenden prevenir los posibles mecanismos de colapso fuera del plano, se deduce que desde el punto de vista del binomio costo-beneficio, la solución de rigidizar los forjados (solución de refuerzo B) se presenta como una solución conveniente/aconsejable.

3.2.10. Comentarios y conclusiones

Todo el trabajo mostrado en este apartado tiene como objetivo contribuir a la promoción de la rehabilitación y la rehabilitación de edificios antiguos en mampostería integrados en las áreas históricas proporcionando información sobre el comportamiento de estos edificios, así como la evaluación de la eficiencia de determinadas soluciones de refuerzo. La mejor comprensión del comportamiento de estos edificios antiguos, así como la compatibilidad de las posibles intervenciones, se logra a través de la adecuada elección de las técnicas sobre las soluciones constructivas existentes, teniendo en cuenta la valoración de los edificios en términos de autenticidad, arquitectónica e histórica.

La presencia de grandes aberturas o de muchas aberturas en muros de mampostería, sobre todo en la planta baja, induce a una importante exigencia en la concentración de la tensión y deformación, principalmente cuando la acción sísmica actúa en el plano de desarrollo de los muros. Se constata que las demandas de deformación son muy altas en la planta baja, pudiendo causar mecanismos de comportamiento tipo «planta débil». La común supresión de muros o la ampliación de aberturas en edificios antiguos al nivel de planta baja (por ejemplo, para

la instalación de garajes o locales comerciales), es una mala práctica y debe ser evitada, así como la falta de simetría o falta de alineación en la distribución de las aberturas en edificios, en particular entre la fachada principal y posterior, puede inducir a efectos de torsión desfavorable en el comportamiento de cada edificio. Sin embargo, se observa que el comportamiento global del conjunto estructural y no de los edificios aislados, atenúa el efecto de torsión referido.

El análisis desarrollado, por su escala, admite la continuidad en términos de desplazamientos y rotaciones entre las paredes contiguas. Este aspecto es una limitación de este modelo, ya que no reproduce exactamente el comportamiento real de traba entre las paredes resistentes de edificios antiguos por las razones expuestas. También para los encuentros entre los forjados de madera y los muros de mampostería se supone una perfecta continuidad en términos de desplazamientos, lo que garantiza la transmisión de la carga vertical de los forjados a las paredes. Sin embargo, esta simplificación ignora las condiciones de unión, en la mayoría de los casos ineficientes entre las estructuras de forjado y cubierta a las paredes (la falta de elementos de anclaje en las uniones afecta seriamente a la distribución de las cargas sobre las paredes cuando éstas están sometidas a movimientos sísmicos), que constituye un factor importante en la respuesta y comportamiento sísmico de cada edificio y conjunto de edificios. La colocación de tirantes para mejorar las condiciones de unión entre muros y estructura horizontal minimiza los problemas mencionados.

El uso de tirantes para restringir la deformación sufrida por las paredes en su plano no resulta una solución interesante. Pero en relación con la reducción de la deformación de las paredes fuera del plano, su uso es particularmente eficaz al nivel de las cubiertas. Asimismo, se concluye que la correcta elección de la zona de anclaje o fijación es de gran importancia, evidenciado por el control de deformación para las deformaciones fuera del plano del punto P1, si se comparan los perfiles de desplazamiento lateral entre las dos configuraciones propuestas.

De las tres soluciones de refuerzo analizadas, la mejor solución, teniendo en cuenta los costes y la reducción de las exigencias de deformación es la triangulación de forjados (solución de refuerzo C). Sin embargo, la combinación de las soluciones estudiadas define acciones complementarias para una solución global más eficiente.

Cabe señalar que la mejora de las condiciones de unión entre la estructura horizontal y los muros de mampostería debe ser una de las primeras acciones de refuerzo para mitigar el riesgo de colapso fuera del plano de las paredes. De igual forma que, cuando las exigencias de deformación fuera del plano sean elevadas, es posible mantenerlas relativamente estables si las estructuras horizontales están bien ligadas a las verticales.

En el caso de la rigidización de forjados, las exigencias en términos de esfuerzos sobre los muros de mampostería crecen, en comparación con forjados más flexibles (estructura original). Por lo tanto, la rigidez horizontal de los forjados debe ser protegida y analizada en términos de estabilidad de los muros, garantizando

una distribución de la carga y de la tensión uniforme sobre las paredes en que descargan.

4. Bibliografía

Álvarez, José J., Sergio Alcocer y Alejandro Barbat (Eds). 2001. *Estudio analítico sobre el comportamiento sísmico de muros de mampostería confinada con aberturas*. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. Barcelona.

Álvarez, Ramón, José Ramón Arroyo, Francisco Santos, Jesús Mª Rodríguez y Eva Baena. 2000. *Tendencias actuales en el cálculo sísmico*, Cuaderno 40 Intemac. Madrid.

Borri, Antonio y Ángela de María. 2004. *Alcune considerazioni in materia di analisi e di interventi sugli edifici in muratura in zona sismica*, in Atti dell'XI Congresso Nazionale «L'ingegneria Sismica in Italia», Genova 25-29.

Brusa, Carlo. 2017. *La Secuencia sísmica de Italia Central de 2016*. Análisis de efectos y daños observados. Inédito. UPC Commons.

Carazas, Wilfredo y Alba Rivero. 2002. *Guía de construcción parasísmica*. CRA-Terre-EAG, MISEREOR. Villefontaine Cedex.

Ceccotti, Ario, Maurizio Follesa y Marco Pio Lauriola. 2005. *Le strutture in legno in zona sismica. Criteri e regole per la progettazione ed il restauro*. Torino. CLUT.

Doglioni, Francesco y Paola Mazzotti. 2007. *Códice di practica per gli interventi di miglioramento sismico nel restauro del patrimonio architettonico*. Ancona. Minitero Per i Beni Culturali.

Farooqa, S.H., Ilyasb, M. and Ghaffarb, A. 2006. T*echnique for strengthening of masonry wall panels using steel strips. Asian journal of civil engineering* 7 (6): 621-638.

García-Badell y Jose Javier. 2006. *Cálculo de las acciones sísmicas [multimèdia]: programa informático con múltiples ejemplos de cálculo versión 2006*. Madrid. Bellisco.

García-Esparza, Juan Antonio. 2008. *Structural restoration, old boarding house in Torrebaja. Proceedings of the IV CINPAR*, Universidade Aveiro (Portugal); Universidade Estadual Vale do Acaraú (Brasil); Brno University of Technology, (Czech Republic). Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, June 25-28.

Giuffré, Antonino. 1999. *Codice di pratica per la sicurezza e conservazione del centro storico di Palermo*. Bari. Laterza.

Giuliani, Hugo. 1987. *Arquitectura sismo-resistente*. Buenos Aires. Facultad de Arquitectura.

Huaman, Victor Michael. 2010. *Proyecto y evaluación del comportamiento sísmico de estructuras de hormigón armado basado en desplazamientos*. Inédito. UPC Commons.

Instituto Geológico Minero de España (IGME). 2011. *Informe geológico preliminar del terremoto de Lorca del 11 de mayo del año 2011*, 5.1 Mw. Ministerio de Ciencia e Innovación, Universidad Complutense de Madrid, Universidad Autónoma de Madrid y Universidad Rey Juan Carlos de Madrid.

Laner, Franco. 2005. *Tecnologia del recupero delle strutture lignee*. Mestre. Flap Edizioni.

Massimo, Mariani. 2004. *Consolidamento delle strutture lignee con l'acciaio. Roma*. DEI Tipografia del genio civile.

de Montserrat, Albert. 2011. *Evaluación del daño de estructuras de pórticos con mampostería y obtención de un índice de daño estructural*. Inédito. UPC Commons.

Stepanek, Petr. 2008. *Architectural and structural aspects in the seismic rehabilitation of buildings. Proceedings of the IV CINPAR*, Universidade Aveiro (Portugal); Universidade Estadual Vale do Acaraú (Brasil); Brno University of Technology, (Czech Republic). Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, June 25-28.

Stepanek, Petr. 2008. *Methods and trends for strengthening of concrete and masonry structures. Proceedings of the IV CINPAR*, Universidade Aveiro (Portugal); Universidade Estadual Vale do Acaraú (Brasil); Brno University of Technology, (Czech Republic). Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, June 25-28.

Tampone, Gennaro. 1996. *Il restauro delle strutture di legno*. Milano. Hoepli.

Yépez, Fabricio, Alex H. Barbat y Josep A. Canas. 1995. *Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería*. Barcelona. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería.

Vicente, R., Rodrigues, H., Varum, H., Mendes da Silva, J.A.R. 2008. *Avaliação numérica de soluções de reforço para edifícios antigos. Proceedings of the IV CINPAR*, Universidade Aveiro (Portugal); Universidade Estadual Vale do Acaraú (Brasil); Brno University of Technology, (Czech

Republic). Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, June 25-28.

5. Normativa

5.1. *Código Técnico de la Edificación*

DB-SE-AE Seguridad estructural: Acciones en la edificación
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SE-AE.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 28 de marzo de 2006
Modificado por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007
Corrección de errores.
B.O.E.: 25 de enero de 2008

Norma de Construcción Sismorresistente: parte general y edificación (NCSE-02)
Real Decreto 997/2002, de 27 de septiembre, del Ministerio de Fomento.
B.O.E.: 11 de octubre de 2002

DB-SUA Seguridad de utilización y accesibilidad
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SUA.
Real Decreto 173/2010, de 19 de febrero, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 11 de marzo de 2010

DB-SI Seguridad en caso de incendio
Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico SI.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 28 de marzo de 2006
Modificado por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, del Ministerio de Vivienda.
B.O.E.: 23 de octubre de 2007
Corrección de errores.
B.O.E.: 25 de enero de 2008

6. Software Técnico-Comercial

Arquímedes y generador de precios CYPE / AutoCAD. Autodesk / REVIT. Autodesk

Base de datos de construcción de la Comunidad Valenciana. Instituto Valenciano de la Edificación.

Base de datos Precio Centro Guadalajara. Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de Guadalajara.

7. Congresos internacionales sobre la materia

Asociaciones que patrocinan los congresos internacionales del ISI Conference Proceedings Citation Index.

Italian Grp Solid Earth Geophys
Univ Porto, Fac Engn
FEUP, Construct Inst
Int Council Monuments & Sites, Int Comm Risk Preparedness
Univ Hong Kong, Dept Civil Engn
Wo Lee Steel Co Ltd
IEEE
IEEE Comp Soc
IEEE Centro Occidente Sect
IEEE Instrumentat & Measurement Soc
Amer Soc Civil Engineers, Coasts, Oceans, Ports, & Rivers Inst, Ports & Harbors Comm
PIANC
Sci Council Japan
World Acad Sci
European Acad Sci Arts & Lett
Inst Elect & Elect Engineers
Inst Elect & Elect Engineers, Geoscience & Remote Sensing Soc
NSSC
SPIE
KU Leuven, Dept Mech Engn
Int Soc Photogrammetry & Remote Sensing
Tech Univ Madrid, Civil Engn Sch
Tech Univ Civil Engn Bucharest, Seism Risk Assessment Res Ctr
Natl Inst Earth Phys
Univ New S Wales, Ctr Infrastructure Engn & Safety
Amer Soc Civil Engineers, Struct Engn Inst
Beijing Jiaotong Univ
Natl Nat Sci Fdn
Univ Porto
Univ Toronto
Univ Toronto, Mech & Aerosp Design Lab
Portuguese Assoc Experimental Mech
European Soc Experimental Mech
Amer Soc Experimental Mech
Japanese Soc Mech Engn
Int Measurement Confederat

Assoc Francaise Mecanique
European Assoc Dynam Mat
Inst Ciencia Inovacao Eng Mecanica Eng Ind
Lab Biomecanica Porto
Fundacao Ciencia Tecnologia
Amer Soc Civil Engineers Architectural Engn Inst
Polish Soc Theoret & Appl Mech
Polish Assoc Computat Mech
Polish Acad Sci, Inst Fundamental Technol Res
Polish Acad Sci, Sect Computat Methods & Optimizat, Comm Mech
Polish Acad Sci, Sect Mech Struct and Mat, Comm Civil Engn & Hydroengineering
Polish Acad Sci, Comm Machine Bldg
Polish Acad Sci, Inst Fluid Flow Machinery
Gdansk Univ Technol, Fac Civil & Environml Engn, Dept Struct Mech
Minist Sci & Higher Educ Republic Poland

8. Material docente complementario

Esta unidad didáctica se complementa con material gráfico de varios Casos Particulares de Inspección.

Unidad didáctica 8
http://bit.ly/2De4vDR



CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EDIFICIOS

Anexo al temario

Listado de productos específicos

Nota: Las fichas técnicas que aquí se presentan son una base elemental sobre productos a emplear en la Conservación y mantenimiento de Edificios de entre tantos que existen en el mercado. A partir de ella, el estudiante puede conocer distintas empresas que se dedican a la fabricación y comercialización de los distintos productos.

PRODUCTO	FABRICANTE / SUMINISTRADOR	UTILIZACIÓN EN OBRA
MEDIOS AUXILIARES Y OTROS		
SIGN	FERRARI	Lonas estampadas para andamios
BIRDEX	CTS	Elementos de protección anti-aves.
FISURÓMETROS	GIS IBERICA S.L.	Medición de fisuras y grietas.
HIGRÓMETROS	GIS IBERICA S.L.	Medición de humedad ambiental
RECUPERACIÓN DE VOLÚMENES PÉTREOS		
PARROT MIX N.º 4	PROCOLOR	Reintegraciones volumétricas en elementos pétreos naturales.
ADIT 6	PROCOLOR	Aditivo Parrot.
VARILLA FIBRA VIDRIO	POLYMEC	Cosidos de piedra. Armadura reintegraciones volumétricas.
SIKADUR 32 N	SIKA	Cosidos con varilla de fibra.
CORRUGADO INOX	ROLDAN	Cosidos de piedra. Armadura reintegraciones volumétricas.
SIKADUR 31 CF	SIKA	Adhesivo estructural y mortero de reparación
ALFAMOLDE 3 Y 4	BPB FORMULA	Yesos especiales para recuperaciones volumétricas en fachada mediante moldes.
EXADURO	BPB FORMULA	Yeso especial para recuperaciones volumétricas en fachada mediante moldes.
EPO 150	CTS	Inyección de fisuras y grietas sobre piedra.
K 151	CTS	Catalizador EPO 150.
CONCRESIVE	BASF	Mortero epoxi tixotrópico de dos componentes para reparaciones de hormigón estructural.
JUNTAS		
SIKAGROUT	SIKA	Macizado de juntas de cornisa.
SIKAFLEX	SIKA	Sellado de juntas.

ACRIL AC 33	CTS	Elastificante de morteros. Regularización de absorción de grietas y fisuras.
COPSAFLEX PUR	COPSA	Masilla elástica bicomponente a base de poliuretano y brea para sellado de juntas.
PUZZOLANA MACINATA «R10»	CTS	Pastas y lechadas para inyecciones o mejora de morteros.
APOGEL	BETTOR MBT, S.A.	Resinas fluidas para inyección de fisuras.
DISOM	DISOM SYSTEM PRODUCTS	Impermeabilización, restauración y protección del hormigón.

PRODUCTO	FABRICANTE / SUMINISTRADOR	UTILIZACIÓN EN OBRA
REVESTIMIENTOS		
CAL	CALES PASCUAL	Morteros de cal o pastas y lechadas para inyecciones.
CAL	CALES TIGRE	Morteros de cal o pastas y lechadas para inyecciones.
CAL APAGADA	CTS	Morteros de cal o pastas y lechadas para inyecciones.
WEBER FX	WEBER CEMARKSA	Puente de adherencia para favorecer el anclaje de morteros a base de cemento y/o cal
WEBER.CAL BASIC	WEBER CEMARKSA	Mortero base impermeable y transpirable en base cal.
WEBER.CAL REVOCO	WEBER CEMARKSA	Mortero de cal para revestimiento y decoración.
CALÇFLEUR «R»	UNICMALL	Mortero de cal grasa para fondo cerámico.
CALÇFONS «T-A»	UNICMALL	Mortero de cal para recubrimiento de soportes finos.
ARMATEX 99	MALLATER & TEMAR	Malla de fibra de vidrio para refuerzo interno de revocos.
VELO 47 / MALLA	DEGUSSA	Malla de fibra de vidrio para refuerzo interno de revocos.
PANELES DE NIDO DE ABEJA	CTS	Revestimiento exterior de fibra de vidrio de 0,5mm de espesor.
PRIMAL B 60 A	CTS	Ligante para revestimientos decorativos
TRATAMIENTOS DE MADERA		
PARALOID B72	CTS	Consolidación madera.

ARALDIT SV 427	CTS	Reintegración volumétrica y masillado de carpinterías de madera.
INDURENTE HV 427	CTS	Catalizador Araldit sv 427.
XILAMÓN	XYLACEL	Tratamiento preventivo-curativo de la madera.
COLA DE RESORCINA		Recuperación volumétrica de volúmenes faltantes de madera.
XILACEL LASUR	XYLACEL	Acabado madera
HEXAFLUMERON	SENTRICON	Cebos para tratamiento antitermitas
TRATAMIENTOS SUPERFICIALES		
BIOTIN S	CTS	Biocida
NEW DES	CTS	Bactericida
USTINEX	BAYER	Biocida - hervicida
ACRIL 33	CTS	Resina acrílica consolidante
PARALOID B-72	CTS	Resina acrílica consolidante

PRODUCTO	**FABRICANTE / SUMINISTRADOR**	**UTILIZACIÓN EN OBRA**
TEGOVAKON V	DEGUSSA	Consolidante de base silícica para piedra y mortero.
TEGOSIVIN HL 100	DEGUSSA	Hidrofugación de piedra y hormigón.
THOROSEAL	BASF	Hidrofugación de piedra y hormigón.
FAKOLITH FK-7	FAKOLITHESPAÑA S.L.	Hidrofugación de piedra y hormigón.
C.2000	CTS	Limpieza química sobre piedra.
ARBOCEL	CTS	Empacos eliminación de sales.
DECAPANTE	5 AROS	Decapado de carpinterías y metales.
SILICATO DE ALUMINIO	MPA ABRASIVOS	Limpieza mediante proyección.
PIGMENTOS	CTS	Patinado de superficies.

KEIM RESTAURO LASUR	KEIM	Patinado de material pétreo.
INCRAL44	CTS	Protección final metales.
WHITE SPIRIT	CTS	Disolvente
ACETONA	GUINAMA	Disolvente
DISOLVENTE NITROCELULÓSICO	GUINAMA	Disolvente
ALCOHOL ETÍLICO	GUINAMA	Disolvente